

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy - 342

Vozidlo pro extrémní klimatické podmínky

Vehicle for Extreme Climatic Conditions

Student:	Bc. Matouš Slowiczek
Osobní číslo:	SLO0101
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
Externí konzultant:	Ing. Radim Sýkora

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Matouš Slowioczek**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2301T003 Dopravní technika a technologie**
Specializace: **10 Kolejová doprava**
Téma: **Vozidlo pro extrémní klimatické podmínky
Vehicle for Extreme Climatic Conditions**

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Cíle:

Stanovení základních požadavků na vozidlo pro oblasti s výskytem velmi nízkých teplot (-50 st. C).
Očekává se rozbor požadavků na materiály (včetně posouzení vlivu chování základních materiálů vozidla na konstrukční řešení – odolnost, dilatace, apod. pro teplotní rozsah -50 st. C ÷ cca. +20 st. C) a požadavků na jednotlivé komponenty (HVAC, brzda, trakce, dveře, okna). Vypracovat soubor návrhů řešení k zajištění provozuschopnosti vozidla v extrémních teplotních podmínkách a seznam vhodných materiálů pro konstrukci vozidla.

Postup řešení:

1. Stručný popis řešeného vozidla se základními parametry.
2. Rozbor legislativních požadavků a stanovení metody posuzování jednotlivých komponent.
3. Rozbor možného působení klimatických podmínek.
4. Provedení rozboru vozidlových skupin a stanovení základních prvků, u kterých bude posuzován vliv klimatického prostředí na jejich funkčnost, bezpečnost, provozuschopnost a životnost.
5. Návrh a posouzení opatření pro zajištění bezproblémového provozu vozidla.
6. Návrh a výpočtová kontrola variantních složení bočnice vozidla (skříň, nátěr, izolace, obložení) navržená s důrazem na velký tepelný odpor.
7. Porovnání variant návrhů a výrobně technické vyhodnocení vybraného řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podklady výrobců.

FS_SME_05_003 Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. VŠB-TUO, Fakulta strojní. [online] Dostupnost: iso.fs.vsb.cz.

ČSN EN 50125-1. Drážní zařízení – Podmínky prostředí pro zařízení – Část 1: Zařízení drážních vozidel. , Vydání 2015.

ГОСТ 16350-80 - Климат СССР, vydání 1981. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

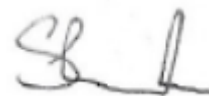


prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 18.5.2020

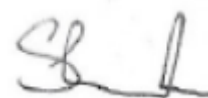


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18.5.2020



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Matouš Slowioczek

Anotace diplomové práce

SLOWIOCZEK, M. *Vozidlo pro extrémní klimatické podmínky: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2020, 93 s. Vedoucí práce: Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Tato práce je zaměřena na analýzu požadavků na vozidlo pro oblasti s výskytem velmi nízkých teplot. Rozbor požadavků na použité materiály, jejich konstrukční řešení a požadavky na jednotlivé komponenty. V úvodní části je práce zaměřena na základní popis vybraného kolejového vozidla, rozbor legislativních požadavků a rozbor působení klimatických podmínek. Poté jsou rozděleny a popsány důležité komponenty a jejich chování v daných oblastech. Poté je vypracován soubor návrhů řešení k zajištění provozuschopnosti vozidla při konstrukci. Doporučení pro provozovatele, jak se o takové vozidlo starat. Na závěr je proveden návrh složení izolace středního oddílu s výpočtovou kontrolou a jsou porovnány alternativy.

Annotation of the Diploma Thesis

SLOWIOCZEK, M. *Vehicle for Extreme Climatic Conditions: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2020, 93 p. Thesis head: Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

This thesis is focused on the analysis of vehicle requirements for extreme climatic conditions. Analysis of requirements for used materials, their design solutions and requirements for individual components. In the introductory part, the work focuses on the basic description of the selected rail vehicle, analysis of legislative requirements and analysis effects of climatic conditions. Then the parts are divide and described their behavior in the given areas. After that the development of a set of solutions to ensure the operability of vehicles during construction. Recommendations for operators on how to take care of your vehicle. Finally, the design of the composition of isolated parts with computational control is demonstrated and alternatives are evaluated.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	12
Úvod.....	14
1 Popis vozidla.....	15
1.1 Výběr vozidla	15
1.1.1 Elektrické patrové jednotky	15
1.1.2 Elektrické jednopodlažní jednotky	16
2 Rešerše legislativních požadavků	18
2.1 ČSN EN 50125-1	18
2.1.1 Rozsah platnosti.....	18
2.2 GOST 16350-80.....	19
2.3 Posuzování jednotlivých komponent	20
2.3.1 Skříň vozidla	20
2.3.2 Dveře.....	21
2.3.3 HVAC agregát	21
2.3.4 Toalety	21
2.3.5 Pryžové části a provozní kapaliny	21
2.3.6 Brzdové ústrojí.....	21
2.3.7 Trakční a elektrické vybavení.....	22
2.3.8 Interiér.....	22
3 Rozbor možného působení klimatických podmínek.....	23
3.1 Nadmořská výška	23
3.1.1 Požadavky na vlak	23
3.1.2 Vliv nadmořské výšky na HVAC agregát	24
3.1.3 Vliv nadmořské výšky na chladicí systém.....	24
3.2 Teplota.....	24
3.2.1 HVAC agregát	25

3.2.2	Vliv teploty na chlazení trakčních motorů.....	26
3.2.3	Analýza chování materiálů vlivem teploty	27
3.3	Vlhkost vzduchu a pohyb vzduchu	30
3.3.1	Vliv vlhkosti na materiál.....	32
3.4	Sníh a kroupy	33
3.4.1	Vliv prachového sněhu na chlazení motorů.....	33
3.5	Sluneční záření	34
3.5.1	Přenos tepla zářením	34
3.5.2	Vliv slunečního záření na stárnutí materiálu	35
4	Rozbor vozidlových skupin	36
4.1	Skříň vozidla	36
4.1.1	Diferenciální stavba	36
4.1.2	Integrální hrubá stavba.....	37
4.1.3	Vliv vlhkosti na hrubou stavbu	37
4.1.4	Vliv teploty na hrubou stavbu.....	38
4.1.5	Eliminace a opatření proti vlivu prostředí na hrubou stavbu.....	39
4.2	Vstupní dveře	40
4.2.1	Analýza vlivu klimatických podmínek na externí dveře	40
4.2.2	Opatření proti vlivu klimatických podmínek.....	41
4.3	Klimatizace a topení.....	42
4.3.1	Analýza vlivu klimatických podmínek na klimatizaci, topení	43
4.3.2	Opatření proti vlivu klimatických podmínek.....	43
4.4	Toalety.....	44
4.4.1	Analýza vlivu klimatických podmínek na WC systém.....	45
4.4.2	Opatření proti vlivu klimatických podmínek.....	45
4.5	Přezbové části a provozní kapaliny.....	46
4.5.1	Přezbové části	46
4.5.2	Vliv klimatických podmínek na přezb.....	46

4.5.3	Maziva	47
4.5.4	Opatření proti provozním teplotám maziv	47
4.6	Brzdové ústrojí	48
4.6.1	Analýza vlivu klimatických podmínek na kotoučovou brzdu	48
4.6.2	Analýza vlivu klimatických podmínek na pneumatickou část brzdy	49
4.7	Trakční a elektrické vybavení	50
4.7.1	Vliv teploty a vlhkosti.....	50
4.7.2	Vliv cizích pevných těles	52
5	Návrh zajištění bezproblémového provozu vozidla.....	53
5.1	Doporučení při návrhu vozidla.....	53
5.1.1	Skříň vozidla, izolace, mechanické díly, chlazení a skladování	53
5.2	Údržba vozidla v zimním prostředí.....	56
5.2.1	Začátek provozu.....	56
5.2.2	Údržbové úkony.....	57
6	Návrh složení bočnice vozidla	59
6.1	Podmínky tepelné pohody	59
6.2	Materiály pro složení bočnice vozidla	61
6.2.1	Druhy materiálu:	61
6.3	Tepelně technický výpočet prostupu tepla	62
6.3.1	Výpočet součinitele přestupu tepla	62
6.3.2	Výpočet součinitele prostupu tepla.....	64
6.4	Návrh složení oddílu	66
6.4.1	Popis a návrh složení bočnice	66
6.4.2	Popis a návrh složení podlahy	67
6.4.3	Popis a návrh složení stropu	68
6.4.4	Popis a návrh složení okna oddílu	69
6.4.5	Popis a návrh složení dveří oddílu	69
6.4.6	Popis a návrh složení vnitřní stěny oddílu	69

6.5	Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla pro stojící vůz	70
6.5.1	Bočnice	70
6.5.2	Strop.....	71
6.5.3	Podlaha.....	71
6.5.4	Okno oddílu	72
6.5.5	Tepelná ztráta prostupem oddílu stojícího vozu	73
6.6	Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla pro jedoucí vůz	73
6.6.1	Bočnice	73
6.6.2	Strop.....	74
6.6.3	Podlaha.....	75
6.6.4	Okno oddílu	76
6.6.5	Dveře oddílu	76
6.6.6	Stěna nástupního prostoru.....	77
6.6.7	Tepelná ztráta prostupem oddílu jedoucího vozu	78
6.7	Ztráty vlivem větrání.....	78
6.8	Celková tepelná ztráta oddílu pro stojící vůz.....	78
6.9	Celková tepelná ztráta oddílu pro jedoucí vůz.....	79
6.10	Tepelný zisk oddílu	79
7	Porovnání variant návrhů a výrobně technické vyhodnocení vybraného řešení	80
7.1	Použité druhy izolace	80
7.1.1	Melaminová pěna.....	80
7.1.2	Skelná vata.....	81
7.1.3	Polyesterová izolace	82
7.2	Porovnání výsledků tepelných ztrát	83
7.2.1	Tepelné ztráty pro stojící vůz.....	83
7.2.2	Tepelné ztráty pro jedoucí vůz.....	85
7.3	Zhodnocení a výběr izolace	86
7.3.1	Srovnání hmotností a cen variant izolací	86

7.3.2	Výběr izolace	87
8	Závěr	88
	Seznam použité literatury	90
	Seznam použitých obrázků	92
	Seznam použitých tabulek	93
	Seznam příloh	93

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Jednotka	Popis
AC	[-]	Střídavý systém napájení
ČSN	[-]	Česká státní norma
DC	[-]	Stejnoseměrný systém napájení
EN	[-]	Evropská norma
Gost	[-]	Státní standart – soubor norem, platící pro státy bývalého SSSR
HVAC	[-]	Topení, větrání a klimatizace
NÚ	[-]	Návod na údržbu
TM	[-]	Trakční motor
UIC	[-]	Mezinárodní železniční unie
UNI WC	[-]	Univerzální vakuová toaleta
UV	[-]	Ultrafialové záření

Symbol	Jednotka	Popis
\dot{V}_1	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	Objemový průtok venkovního vzduchu na osobu
$\dot{V}_{L cest.}$	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	Celkový objemový průtok venkovního vzduchu
P_1	[%]	Přirážka na zvýšenou tepelnou vodivost tepelných můstků
P_2	[%]	Přirážka na zhoršující provozní a montážní vlivy
$Q_{V cest.}$	$[W]$	Ztráty vlivem větrání
Q_c	$[W]$	Celková ztráta prostupem tepla
Q_i	$[W]$	Ztráty vlivem prostupem tepla
$Q_{v celk}$	$[W]$	Celková tepelná ztráta oddílu
Q_z	$[W]$	Tepelný zisk oddílu
R_{red}	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	Redukovaný tepelný odpor konstrukce
k_i	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Součinitel prostupu tepla
l_o	$[mm]$	Původní délka
s_i	$[m]$	Tloušťka jednotlivých vrstev oddílu

α_1	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Vnitřní součinitel přestupu tepla
α_2	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Vnější součinitel přestupu tepla
ΔT	$[K]$	Teplotní změna
Δl	$[mm]$	Délkový přírůstek
T_g	$[^{\circ}C]$	Teplota skelného přechodu
R	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	Tepelný odpor konstrukce
S	$[m^2]$	Plocha stěny
n	$[-]$	Počet osob v oddílu
t	$[^{\circ}C]$	Teplota
α	$[K^{-1}]$	Teplotní roztažnost materiálu
λ	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti

Úvod

Při návrhu kolejového vozidla je velmi důležité dbát na prostředí, ve kterém se vozidlo bude pohybovat. Podmínky prostředí, ve kterých bude zařízení fungovat, musí být navrženo, tak aby splňovalo požadovanou kvalitu, bezpečnost, ochranu zdraví a životního prostředí. Zimní podmínky jsou velmi náročné na vozidlo obecně. Použité materiály si musí i v těchto podmínkách zachovat svou funkčnost, aby byla splněna bezpečnost a provozuschopnost vozidla.

Samotným návrhem vozidla to nekončí. Důležité je také provádět potřebnou údržbu, předepsat údržbové úkony, tak aby byla zachována provozuschopnost vozidla. Při extrémních podmínkách je důležité zvážit, zda bude vozidlo odstavováno na odstavných kolejích nebo musí být odstaveno v depech kvůli negativnímu působení vnějších podmínek. Údržba hraje velkou roli pro co nejdelší životnost vozidla.

Práce se zabývá analýzou vlivu klimatických podmínek na kolejové vozidlo. V úvodu bude vybráno obecný typ vozidla a jeho umístění důležitých komponentů. Dále bude provedena rešerše legislativních požadavků na působení klimatických podmínek. Následně rozbor působení klimatických podmínek jako jsou teplota, vlhkost, sníh a kroupy. Dojde k rozdělení komponentů a k jejich následné analýze působení vnějších vlivů. Následný rozbor zajištění bezproblémového provozu a bude proveden návrh složení izolace středního oddílu s výpočtovou kontrolou.

Cílem práce je provést analýzu požadavků na vozidlo pro oblasti s výskytem velmi nízkých teplot. Rozbor požadavků na použité materiály, jejich konstrukční řešení a požadavky na jednotlivé komponenty. Dále vypracovat soubor návrhů řešení k zajištění provozuschopnosti vozidla jak při konstrukci vozidla, tak také v provozu. Doporučení pro provozovatele, jak se o takové vozidlo starat. V závěru provést návrh složení izolace středního oddílu s výpočtovou kontrolou a porovnat alternativy.

1 Popis vozidla

Tato práce se zabývá vlivem extrémních podmínek na vozidlo, přesněji myšleno, vliv extrémních podmínek na funkčnost a bezpečnost důležitých komponentů kolejového vozidla.

1.1 Výběr vozidla

Typy kolejových vozidel:

- vozidla železniční,
- vozidla pouličních drah,
- vozidla metra,
- vozidla průmyslových drah,
- vozidla pozemních lanových drah,
- vozidla dvoucestná.

Vozidla železniční se dále dělí na:

- vozidla pro příměstskou regionální dopravu,
- vozidla pro dálkovou osobní dopravu,
- vozidla pro vysokorychlostní osobní dopravu.

Pro účely této práce jsou určeny železniční trakční vozidla pro příměstskou regionální dopravu. Umístěním hlavních komponentů vozidla hraje primární roli při řešení vlivu okolních podmínek na činnost vozidla.

1.1.1 Elektrické patrové jednotky

Jedná se o vozidla určené pro příměstskou dopravu cestujících v okolí velkých měst. Elektrické patrové jednotky v portfoliu firmy Škoda Vagonka a.s., vnímáme jako elektrické jednotky řady 471 City Elefant (Obr. 1), s napájecím napětím 3kV DC. Jejich hlavním odběratelem jsou České dráhy, a.s. Jednotky byly také dodávány pro Litevské železnice na trakční napětí 25 kV AC, 50 Hz.

Všechna tato vozidla jsou třívozová v patrovém provedení, jsou složeny z elektrického, vloženého a řídicího vozu. Řídicí systém umožňuje spojit až čtyři takové soupravy a celý vlak řídit z jedné kabiny pro strojvedoucího. Maximální rychlost vozidel je závislá podle požadavků vozidla a to konkrétně 140 a 160 km/h.

Skříň jednotky je z hliníkových prefabrikátů. Délka soupravy činí okolo 80 metrů a kapacita jednotky činí 310 cestujících a celkový počet cestujících včetně stojících je cca 640.



Obr. 1 Elektrická patrová jednotka řady 471 - City Elephant ¹

1.1.2 Elektrické jednopodlažní jednotky

Jednopodlažní jednotka pro příměstskou regionální dopravu (Obr. 2). Pro tuto práci byla vybrána jednotka firmy Škoda Vagonka a.s. řady 641 RegioPanter. Tato jednotka se vyrábí jako dvou a tří vozová. Buď se jedná o jednosystémovou (3 kV DC) či dvousystémovou (3 kV DC, 25kV AC a 50 Hz).

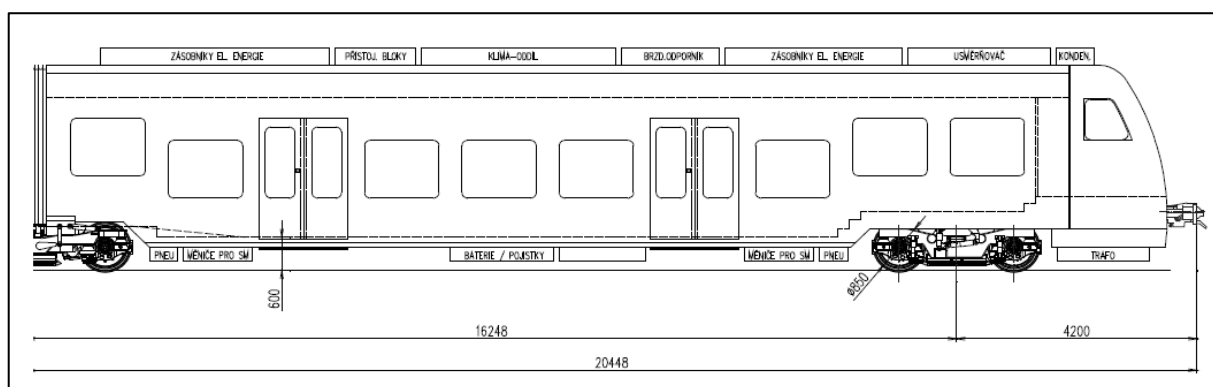


Obr. 2 Jednopodlažní elektrická jednotka řady 641 - RegioPanter ¹

Pro pohon je každý vůz osazen trakčním podvozkem se dvěma asynchronními motory, vůz je poté doplněn o běžný podvozek. Jednotka je doplněna o klimatizaci nebo také Wifi připojení, pro zvýšení komfortu cestujících.

Jednotka je koncipována jako regionální z tohoto důvodu má široké nástupní prostory, průchozí interiér pro lepší výměnu cestujících. Na střeše vozidla jsou poté umístěny v převážné míře technologické celky vozidla.

Vzhledem k typu uložení, většiny technologických celků vozidla (Obr. 3), na střeše či pod podlahou vozidla, jsem pro účely této práce vybral elektrickou jednopodlažní jednotku.



Obr. 3 Schéma uložení technologických celků elektrického vozu ¹

2 Rešerše legislativních požadavků

Vliv klimatických podmínek na vozidlo podléhá mnoha legislativním požadavkům. Tyto požadavky jsou uvedeny v jednotlivých normách jak státních, tak požadavky mezinárodních organizací, jejichž platné znění platí pro veškerá drážní vozidla pohybující se na tratích uvedených vždy v jednotlivých normách.

Pro téma mé práce je důležitá norma ČSN EN a ruský ekvivalent norma GOST.

2.1 ČSN EN 50125-1

Tyto normy vydává Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Konkrétně zkratka ČSN znamená Českou státní normu a ve spojení se zkratkou EN je dáno, že tato norma byla převzata z Evropské normy. Většina nově vydaných norem je právě vydáno tzv. převzetím, to lze provést překladem, převzetím originálu nebo schválením k přímému používání.

V současné době je úkolem České státní normy stanovit požadavky na kvalitu, slučitelnost, bezpečnost, změnitelnost, ochranu zdraví a životního prostředí. Technická norma není povinná a závazná, pouze je kvalifikovaná jako doporučená.

V této diplomové práci je důležitá norma ČSN EN 50125-1, jedná se převzatou normu EN 50125-1. Byla vydána organizací CENELEC v roce 2014.

Norma ČSN EN 50125-1 se zabývá o Podmínky prostředí pro zařízení – Část 1: Drážní vozidla a jejich zařízení. Skládá se z:

- předmluvy,
- rozsah platnosti,
- citované dokumenty,
- termíny a definice,
- podmínky prostředí,
- přílohy.

2.1.1 Rozsah platnosti

Účelem této normy je definovat podmínky prostředí vyskytující se v Evropě (po dohodě lze použít i jinde). Zahrnuje definice a rozsahy těchto parametrů: nadmořská výška, teplota, vlhkost vzduchu, pohyb vzduchu, déšť, sníh a kroupy, led, sluneční záření, blesky, znečištění, a to pro drážní vozidla a jejich zařízení. Zejména definuje podmínky na rozhraní mezi vozidlem a prostředím, tyto definované podmínky prostředí považujeme za normální provozní podmínky.

2.2 GOST 16350-80

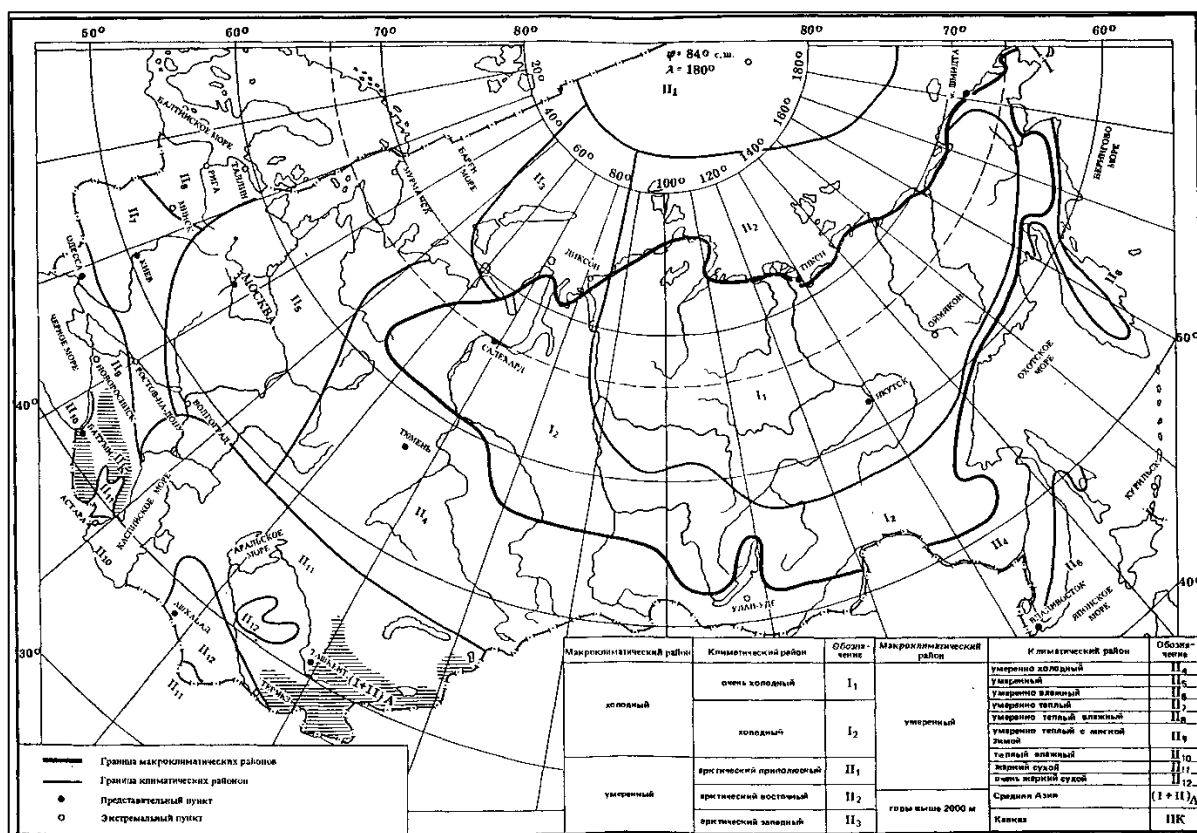
Norma Gost (původně государственный стандарт neboli státní standart) je soubor norem obhospodařovaných nadnárodní Euroasijskou radou pro normalizaci, metrologii a certifikaci (EASC), což je standardizační organizace fungující v rámci Společenství nezávislých států.

Podobně jak v normě evropské EN i zde norma Gost rozděluje území bývalého sovětského svazu na klimatické zóny (Tab. 1).

Tab. 1 Rozdělení území do klimatických oblastí ³

Makroregiony	Klima oblasti		Kritérium oblasti			
	Název	Označení	Průměrná měsíční teplota		Průměrná měsíční relat. vlhkost vzduchu	Počet dní s min.teplotou pod mínus 45 °C, [d]
			leden	červenec		
Chladné území	Velmi chladno	I1	-50 až -30	Od 2 do 18	-	10-100
	Chladno	I2	-30 až -15	Od 2 do 25	-	1,0-10,0
Mírné pásmo	Polární	II1	-33 až -28	Od -1 do 0	více než 90	0-2
	Polární východ	II2	-28 až -18	Od 0 do 8	více než 80	0-0,1
	Polární západ	II3	-30 až -2	Od -1 až 12	více než 80	0-2
	Mírně chladné	II4	-30 až -15	Od 6-25	-	0,1-1,0
	Mírné	II5	-15 až -8	8-25	méně než 80	-
	Mírně vlhké	II6	-15 až -10	10 až 20	60 nebo více	-
	Mírně teplé	II7	-8 až -4	16-25	méně než 70	-
	Mírně teplé a vlhké	II8	-8 až -4	16-25	70 a více	-
	Vlažné s mírnou zimou	II9	-4 až 0	16-25	méně než 70	-
	Teplé a vlhké	II10	0 až 4	20-25	více než 70	-
	Horké a suché	II11	-15 až 4	25-30	méně než 40	-
	Velmi horké a suché	II12	-4 až 4	30 a výše	Méně než 20	-

Podobně jak v evropské normě i tato norma definuje nadmořskou výšku, teplotu, vlhkost vzduchu, pohyb vzduchu, déšť, sníh a kroupy, led, sluneční záření, blesky, znečištění, a to pro drážní vozidla a jejich zařízení v jednotlivých zónách (Obr. 4).



Obr. 4 Rozdělení bývalého území Sovětského svazu na jednotlivé zóny dopadu klimatu ³

2.3 Posuzování jednotlivých komponent

Každý komponent náchylný na klimatické podmínky, musí být posuzován jednotlivě a podle podmínek, ve kterých bude provozován. Vliv klimatických podmínek musí být brán v potaz už při samotném návrhu a poté i po celou dobu provozu. Musí být prováděny pravidelné předepsané kontroly a zkoušky, aby byl zajištěn bezpečný a provozuschopný stav zařízení.

2.3.1 Skříň vozidla

Skříň vozidla je přímo ovlivňována okolním prostředím, a to jak teplotou, tak také vlhkostí, slunečním zářením, sněhem, prachem apod. Všechny tyto podmínky musí být zahrnuty už při samotném návrhu vozidla. Posuzována bude teplota (analýza chování materiálu při těchto teplotách, návrh vhodného materiálu hrubé stavby jeho roztažnost), vlhkost (rosný bod, koroze materiálu).

2.3.2 Dveře

Podobně jako skříň vozidla je v přímém kontaktu s vnějším prostředím a výskytem nízkých teplot. Proto bude důležitá analýza chování elektropneumatického systému dveří při nízkých teplotách. Vliv nízkých teplot, vlhkosti a slunečního záření na pryžové části dveří.

2.3.3 HVAC agregát

Pro HVAC agregát bude nejdůležitější už při návrhu brát v potaz velmi nízké teploty. Navrhnout spolehlivý systém s dobrou filtrací vzduchu kvůli vlhkosti a velmi nízké teplotě vzduchu. Bude potřeba řešit práškový sníh a možnost zanesení přívodu vzduchu do systému.

2.3.4 Toalety

Podobně jak u předešlých komponentů nejdůležitějším parametrem posuzování toaletního systému bude teplota, především její vliv na řešení nádrže na vodu a fekálie, aby bylo zamezeno zamrznutí, v nejhorším případě prasknutí potrubí či jednotlivých nádrží. S tímto problémem se bude potřeba zabývat už při samotném návrhu. Nádrže mohou být umístěné přímo ve vozidle (chráněné před okolními vlivy) nebo pod vozidlem (vystaveny okolním vlivům).

2.3.5 Pryžové části a provozní kapaliny

Pryžové části, které jsou vystaveny velmi nízkým teplotám musí být navrženy, tak aby bezpečně a bezporuchově plnili svou funkci. Budou vystaveny jak nízkým teplotám, tak také vlhkosti a slunečnímu záření, možnost sněhu, vody a mrazům (možnost zamrznutí vody na povrchu pryžových částí).

Provozní kapaliny (maziva), musí být zvoleno, tak aby vydrželo extrémní podmínky, především nízké teploty, zde nám nebude hrát roli vlhkost ani okolní nečistoty. Také jímka pro písek musí být navržena tak, aby nedošlo k vniknutí vlhkosti a tím znehodnocení písku.

2.3.6 Brzdové ústrojí

U brzdového systému musíme řešit přiváděný vzduch do kompresorů, který musí být vyčištěný (projít filtrací) a dostatečně vysušený ať se do potrubí nedostane vlhkost. Kompresory musí být navrženy, tak aby byly schopné pracovat při nízkých teplotách, musí mít správnou filtraci a sušičku vzduchu (teplota vzduchu a vlhkost vzduchu, čistota vzduchu).

2.3.7 Trakční a elektrické vybavení

Trakční vybavení, které se nachází v přímém kontaktu s vnějším prostředím jako jsou trakční motory, sběrače elektrické energie, trakční transformátor, jsou velmi háklivé na teplotu. Musí být zabezpečeny bezpečnostní podmínky, aby nedošlo k úrazu. Mezi hlavní degradační faktory patří teplota, vlhkost, prachové částice, práškový sníh.

U trakčních motorů je potřeba řešit chlazení, tak aniž by docházelo k ucpání přívodu chladicího vzduchu. Také filtrování pevných částic a tím ucpání trakčních motorů. Potřeba řešit izolační prvky elektrických zařízení a jejich degradace.

Elektrické prvky umístěné uvnitř vozidla při běžném provozu nabíhají až po vytemperování vozidla. Je potřeba zajistit jejich oživení při nižších teplotách, poté už pracují při vnitřní teplotě.

2.3.8 Interiér

Většina přístrojů v interiéru pracují až po vyhřátí vozidla, při běžné teplotě. Proto nemusejí být navrženy pro kritické teploty, pouze skladovací teplota okolo -50°C stupňů, ale provozní teplota už kolem $+20^{\circ}\text{C}$.

Větší pozornost musíme věnovat přístrojům umístěným v nástupní prostoru, kde dochází k velké výměně tepla dveřmi vozu. Zde se můžeme setkat jak s velmi nízkými teplotami, tak také provozní teplotou.

3 Rozbor možného působení klimatických podmínek

V předchozích řádcích byly stručně popsány důležité normy pro podmínky prostředí na drážní zařízení. V následujících řádcích jsou popsány podmínky prostředí na drážní zařízení, při nichž musí vozidlo a jeho zařízení fungovat podle dané specifikace.

3.1 Nadmořská výška

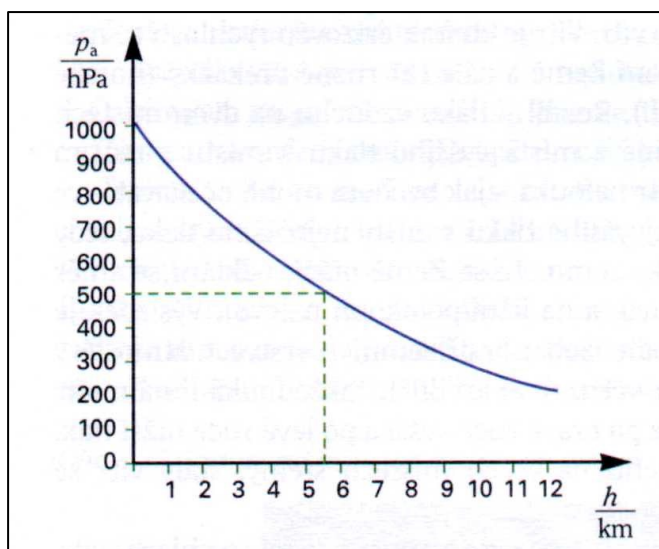
Vozidlo a jeho zařízení musí fungovat podle dané specifikace v jednotlivém rozsahu nadmořských výšek uvedené v Tab. 2. Nadmořská výška je významná zejména kvůli tlaku vzduchu a jeho následným důsledkům pro chladicí, klimatizační systém, pro dieselové motory a elektrické vzdušné vzdálenosti.

Tab. 2 Třídy rozsahu nadmořských výšek ²

Třídy	Rozsah nadmořských výšek [m]
A1	do 1400
A2	do 1000
A3	do 1200
AX	přes 1400

3.1.1 Požadavky na vlak

Vlak musí fungovat v širokém spektru podmínek a také v různých nadmořských výškách (viz. Tab. 2). Ve vyšších nadmořských výškách se mění rozložení tlaku, hustoty a teploty vzduchu. Jiný tlak a hustota vzduchu budou u hladiny moře a jiné vy výšce přes 1400 m n. m. Nejdůležitějšími veličinami jsou teplota a tlak vzduchu. Množství vzduchu nacházející se nad určitým bodem se s rostoucí nadmořskou výškou snižuje. To se projevuje výraznou změnou tlaku (Obr. 5).



Obr. 5 Závislost tlaku vzduchu na nadmořské výšce ⁴

3.1.2 Vliv nadmořské výšky na HVAC agregát

Hlavním úkolem HVAC agregátu je zajištění správného tlaku, teploty a vlhkosti vzduchu a jeho následný rozvod do celého vlaku. Pro osoby ve vlaku by bylo ideální udržovat v jakékoliv výšce stejné podmínky, které panují na zemi tzv. tlak okolo 1010 hPa.

Zajištění správné teploty je nezbytné nejen kvůli bezpečnosti a pohodlí, ale také kvůli správné funkci přístrojů nacházejících se na palubě vlaku. HVAC agregát ve vysokých nadmořských výškách musí zajistit komfortní prostředí pro cestující, vyrovnávat tlak uvnitř vlaku po celou dobu jízdy.

3.1.3 Vliv nadmořské výšky na chladicí systém

Závisí na typu chlazení např. trakčních motorů, chlazení vzduchem patří u trakčních pohonů ke klasickému způsobu. U tohoto typu už se dostáváme do problému ve vyšších nadmořských výškách, kde nám klesá hustota a tlak vzduchu.

3.2 Teplota

Vozidlo a jeho zařízení musí fungovat podle dané specifikace v jednotlivém rozsahu teplot uvedené v Tab. 3. Teploty uvedené v druhém sloupci Tab. 3 jsou pouze informativní jako maximální a minimální hodnoty uvnitř vozidla, sloužící pro navrhování zařízení umístěného uvnitř vozidla. Pokud, při navrhování vozidla, známe místní poměry prostředí, které uvažují jiné provozní teploty nebo pokud je rozsah provozních teplot omezen topnými či chladicími systémy, musí být tyto teploty konzultovány, dohodnuty a uvedeny ve specifikaci vozidla.

Jako referenční hodnota se bere teplota 25 °C, jejíž trvalé působení vyvolá obdobné stárnutí materiálu jako působení teplot daných klimatem po dobu technického života výrobku.

Tab. 3 Třídy teplot vzduchu ²

Třídy	(1) Teplota vzduchu vně vozidla [°C]		(2) Teplota vzduchu uvnitř přístrojové skříně [°C]	
T1	-25	+40	-25	+50
T2	-40	+35	-40	+45
T3	-25	+45	-25	+55
TX	-40	+50	-40	+60

3.2.1 HVAC agregát

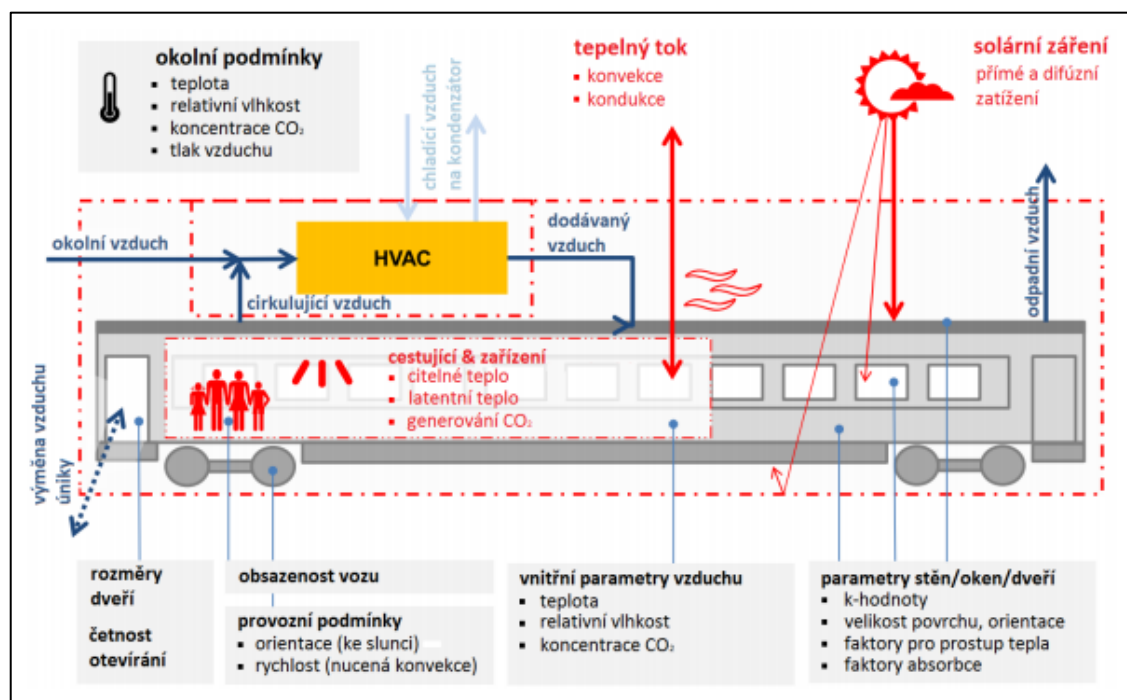
HVAC agregát slouží k zajištění tepelné pohody v celém rozsahu vnějších teplot a zajištění nouzového větrání.

Jednotka HVAC neboli topení, větrání a klimatizace můžeme rozdělit na 5 základních funkcí:

1. Klimatizační zařízení stanoviště strojvedoucího
2. Klimatizační zařízení prostoru pro cestující
3. Systém vytápění
4. Systém větrání
5. Tlaková ochrana

Výpočet chladicího výkonu agregátu

Při výpočtu návrhu zařízení HVAC je třeba zvážit typ vozidla, úroveň hlukové zátěže v interiéru a exteriéru, umístění zařízení, přístupnost a spolehlivost v daných podmínkách. Podle typu třídy, v jaké bude jednotka sloužit. Dále určujeme počet dveří (frekvence otevírání dveří) a následná výměna vzduchu s okolím, to vše zvyšuje potřebný výkon agregátu. Dále přírůstek tepelného toku vlivem slunečního záření (zhodnoceno v kapitole 3.5).



Obr. 6 Parametry ovlivňující tepelnou pohodu ve voze ⁵

Výrobce vozidel při návrhu HVAC definuje základní vlastnosti vozidla:

- počet cestujících,
- velikost povrchu vozidla,
- součinitel prostupu tepla,
- odrazivost oken,
- provozní určení vozidla (regionální, dálkové) – podle určení vlaku se navrhuje množství vzduchu přiváděného na osobu.

Výpočet chladícího výkonu můžeme shrnout do základních bodů:

a) Termické zatížení osobami

Teoretický počet osob a jejich tepelné zatížení, každý člověk má nějakou produkci CO_2 , produkci vody (Tělo odpaří za hodinu zhruba 0,5 dcl vody ¹⁰), produkci tepla (120 W v klidu při teplotě 20°C ¹⁰)

b) Množství čerstvého vzduchu

c) Prostup tepla

d) Oslunění oken

e) Dodatečné tepelné zatížení

- osvětlení,
- teplo předávané rozvodnou skříní,
- elektrické komponenty.

Výpočet potřebného výkonu topení:

a) Prostup tepla

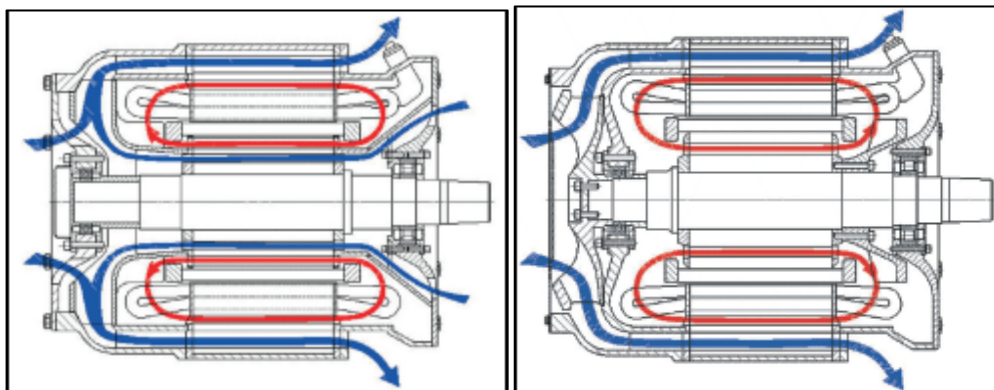
b) Ohřev čerstvého vzduchu

3.2.2 Vliv teploty na chlazení trakčních motorů

Trakční motory v zásadě mohou být chlazeny různými způsoby:

- s přirozeným chlazením – chlazení probíhá pouze konvekcí, bez jakéhokoliv ventilátoru,
- s vlastním chlazením – chlazení pomocí ventilátoru, který je umístěn na hřídeli motoru, v důsledku toho je chlazení závislé na otáčkách motoru,
- s přirozeným vlastním chlazením – používá se dvojího chlazení, první pomocí ventilátoru a druhý vnitřní okruh pomocí konvekcí,
- s cizím chlazením – chlazení pomocí cizího zdroje, který není závislý na otáčkách motoru.

Nejčastějším způsobem chlazení u trakčních motorů je pomocí vzduchu. Motory musejí zvládat zhoršené pracovní podmínky: prach, sníh, vodní mlha, voda apod. V současné době se nejčastěji používají uzavřené motory s dvouokruhovým systémem (Obr. 7). Skládá se z vnitřního a vnějšího okruhu.



Obr. 7 Dvouokruhový ventilační systém chlazení trakčního motoru ¹²

Při tomto systému bude představovat největší problém při chlazení práškový sníh, který může ucpat přívod čerstvého vzduchu do chladicího systému, dále může dojít k roztání sněhu a následné zamrznutí (Viz. kapitola 3.4.1)

3.2.3 Analýza chování materiálů vlivem teploty

Teplota jako taková bude mít největší vliv na teplotní roztažnost materiálů jednotlivých konstrukčních celků. Všechny pevné látky, ale také kapaliny mění své rozměry v závislosti na teplotě, když se vnitřní energie zvýší, tak se zvýší i vzdálenost molekul. Jako výsledek, pevné látky při ohřevu expandují a při ochlazení se smršťují. I když jsou tyto změny relativně malé, musí se s nimi počítat při návrhu vozidla. Schopnost tepelné roztažnosti konkrétního materiálu charakterizuje materiálový součinitel teplotní roztažnosti α (1).

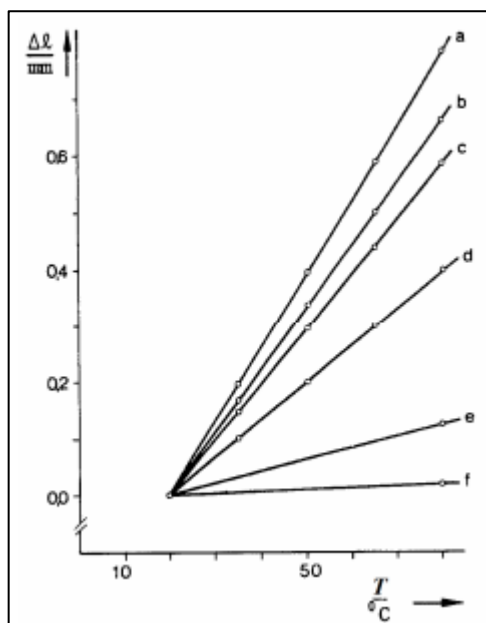
$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta T} [K^{-1}] \quad (1)$$

kde:

Δl [mm] délkový přírůstek

l_0 [mm] původní délka

ΔT [K] teplotní změna



Obr. 8 Závislost délky tyče na teplotě ⁶:
a) hliník, b) mosaz, c) měď, d) ocel, e) sklo, f) křemenné sklo

Jednotlivé hodnoty součinitele teplotní roztažnosti pro teplotu 20°C jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 Součinitel teplotní roztažnosti materiálu ⁶

Materiál	Součinitel teplotní roztažnosti materiálu [$\cdot 10^{-6} K^{-1}$]
Hliník	23,8
Ocel	11
Sklo	85

Odolnost plastů při nízkých teplotách nelze jednoznačně vymežit bez uvažování ostatních podmínek namáhání. S klesající teplotou polymer křehne, roste jeho tuhost a klesá rychlost zotavení. Z hlediska aplikace v praxi je důležitá teplota skelného přechodu T_g .

Teplota skelného přechodu je rozhraní mezi sklovitým a kaučkovitým stavem materiálu. V praxi je nezbytné, aby materiál byl provozován pod touto teplotou. Teplota skelného přechodu nejvíce ovlivňuje ohebnost řetězce polymeru, proto je dělíme na dvě skupiny: polymery s tuhými řetězci, tato skupina má teplotu skelného přechodu nad pokojovou teplotu, materiály jsou tvrdé a při teplotách nad teplotu skelného přechodu změkknou, druhá skupina jsou polymery s ohebnými řetězci, ta má teplotu skelného přechodu nižší, než je pokojová teplota, jsou měkké a při teplotách okolo skelného přechodu tvrdnou až křehnou.

Teplotní roztažnost plastů bývá o řád vyšší než u kovů, a to velmi ovlivňuje konstrukci polymerních dílů, jelikož teplotní změna je příčinou jejich rozměrových i objemových změn. Teplotní roztažnost polymerů závisí zejména na:

- druhu polymeru a jeho struktury,
- typu a množství přísad,
- orientace makromolekul vlivem zpracovatelských podmínek.

Tab. 5 Součinitel teplotní roztažnosti vybraných polymerů ⁷

Materiál	Zkratka	Součinitel teplotní roztažnosti materiálu [$\cdot 10^{-6} K^{-1}$]
Nízkohustotní polyethylen	PE-LD	250
Vysokohustotní polyethylen	PE-HD	200
Polypropylen	PP	150 až 180
Aminoplasty	-	50 až 60
Epoxidová pryskyřice	EP	10 až 40
Přírodní kaučuk	NR	200 až 400

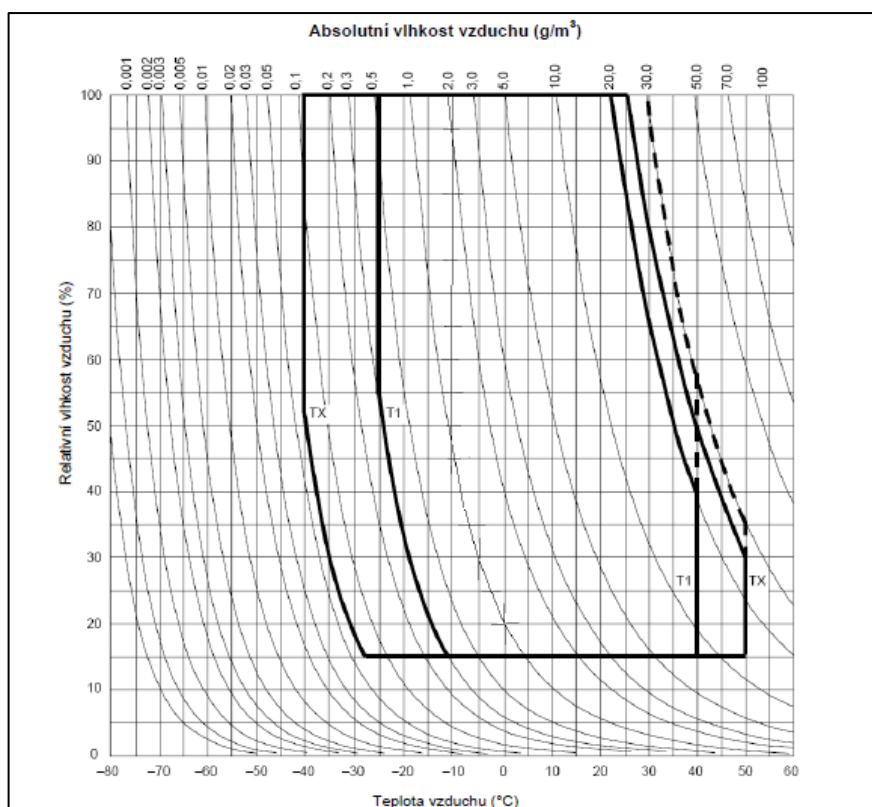
3.3 Vlhkost vzduchu a pohyb vzduchu

Předpokládají se základní hodnoty vnější vlhkosti vzduchu podle Tab. 6. Kondenzace vlhkosti vzduchu vyvolaná provozem, i když se vyskytuje zřídka, tak nesmí způsobit nesprávnou funkci zařízení ani jejich poruchu.

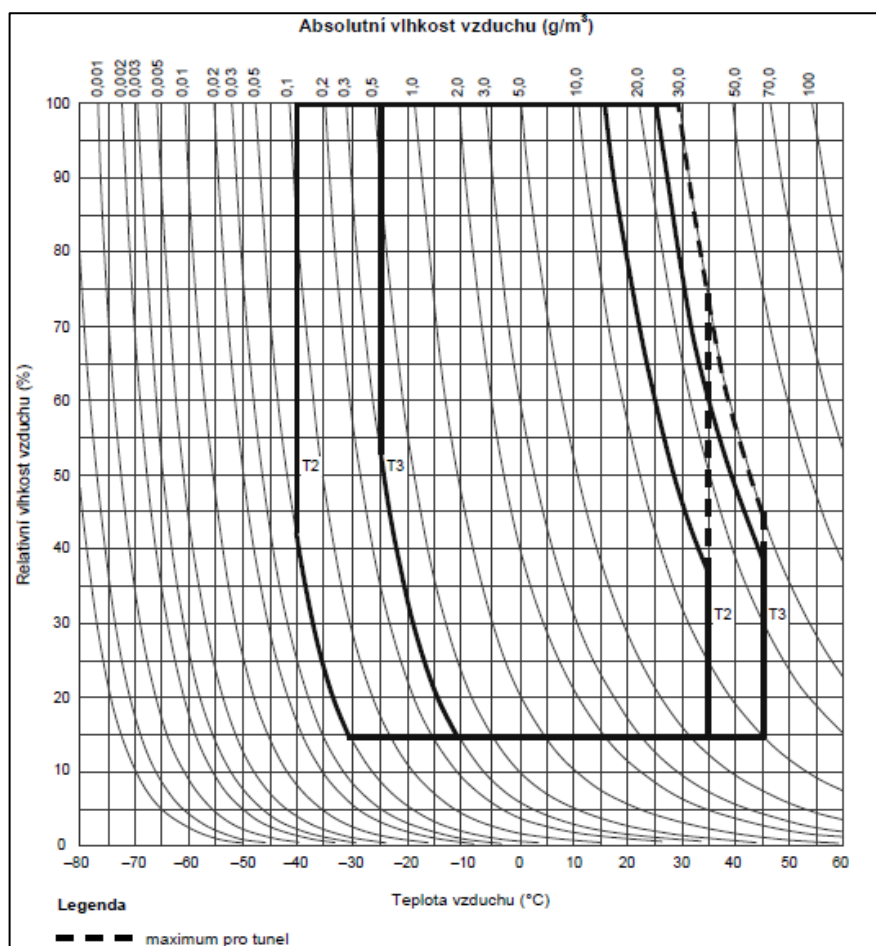
Tab. 6 Hodnoty vnější vlhkosti vzduchu ²

Roční průměr	relativní vlhkost $\leq 75 \%$
Nepřetržitě 30 dní v roce	relativní vlhkost mezi 75 % a 95 %
Náhodně v ostatních dnech	relativní vlhkost mezi 95 % a 100 %
Maximální absolutní vlhkost	30 g/m ³ v tunelech

Závislost vlhkosti na teplotě nám určují Psychrometrické diagramy (Obr. 9, Obr. 10). Určují rozsahy kolísání relativní vlhkosti vzduchu pro jednotlivé třídy teplot, které nebývají překračovány častěji než po 30 dní v roce.



Obr. 9 Rozsahy vlhkosti vzduchu pro třídy T1 a TX ²



Obr. 10 Rozsahy vlhkosti vzduchu pro třídy T2 a T3 ²

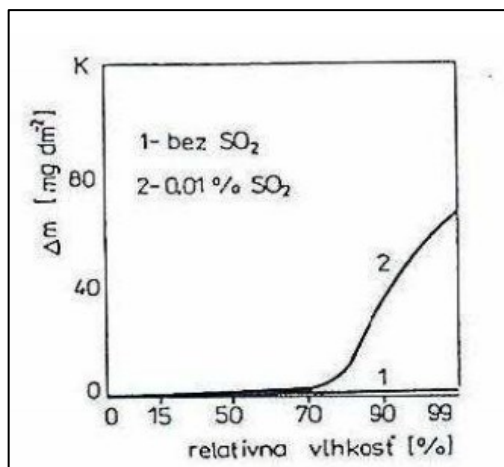
V případě ochlazovaných povrchů může dojít ke vzniku relativní vlhkosti vzduchu 100 % a vzniku kondenzace vody na částech zařízení, nesmí způsobit nesprávnou funkci či poruchu. Také náhlé změny teploty vzduchu v blízkém okolí vozidla (změna teploty až 40 K), mohou vyvolat kondenzaci vody v okolí částech zařízení a také nesmí způsobit nesprávnou funkci či poruchu.

Dalším problémem může být led, který při vjezdu do vozovny roztaje a může způsobit vysoké vlhkosti vzduchu ve vozovně, a naopak může kondenzovaná voda na vozidle při výjezdu vozidla z vozovny zamrznout a způsobit nesprávnou funkci či poruchu zařízení.

Vítr uvažujeme pro účely provozu vozidla (např. ventilační systémy, chladicí systémy apod.) maximální rychlost 35 m/s. Výjimečně se může vyskytnout rychlost větru až 50 m/s, vše v ustáleném stavu. Při výjimečném stavu rychlosti větru může nastat chvilkové ovlivnění funkce zařízení, nesmí však nastat stálé poškození zařízení. Při jízdě vozidla v tunelu musíme brát ohled na tlakové impulsy (např. při vjezdu do tunelu či míjení dvou vozidel v tunelu). Spolu s větrem a pohybem vozidla musíme brát v úvahu také intenzitu deště, které je 6 mm/min podle třídy 5K3 normy EN 60721-3-5.

3.3.1 Vliv vlhkosti na materiál

Vlhkost je jedna ze složek korozního prostředí a má nepříznivý účinek na jednotlivá technická zařízení na vozidle. Velká vlhkost nám způsobuje stárnutí a korozi materiálu. Atmosférické korozní prostředí je právě ovlivněn vlhkostí, teplotou a znečištěním vzduchu, jeho intenzita je ovlivněna velikostí jednotlivých složek. Koroze způsobená vlhkostí má elektrochemický charakter, protože probíhá pod velmi tenkou vrstvou vody, která právě obsahuje složky z atmosféry (např. oxid siřičitý, oxid uhelnatý, amoniak, aerosoly apod.).



Obr. 11 Závislost atmosférické koroze na relativní vlhkosti ⁸

Vodní film se tvoří v malých tloušťkách okolo 50 až 150 μm . Korozní odolnost hliníku a hliníkových slitin, z nichž se skládá hrubá stavba, v atmosférických podmínkách je velice dobrá z důvodů tvorby tenké ochranné vrstvy oxidů (oxid hlinitý). Na schopnosti odolnosti slitin hliníku proti korozi závisí především na jejich složení. Nepříznivě působí především přísady mědi a zinku. V silně průmyslových oblastech jsou slitiny hliníku například právě se zinkem náchylné na korozní praskání.

Velkým problémem představuje, pro korozi materiálu, mořská vlhkost. Setkáváme se s ní v přímořských oblastech, vzdálenost dosahu mořské vlhkosti do vnitrozemí je poměrně velká (desítky až stovky kilometrů). Chování hliníku a jeho slitin je relativně větší odolnost proti mořské vlhkosti než jiné konstrukční kovové materiály, průměrná rychlost koroze hliníku v mořské vodě je zhruba 8 μm . Jedna z dalších výhod pro použití hliníkové hrubé stavby.

Dále nám může vlhkost způsobovat korozi všech krycích plechů. Železo vykazuje velmi nízkou korozní odolnost. Proto je nutné dbát na protikorozní ochranu jednotlivých částí komponentů, které jsou vlhkosti vystaveny.

3.4 Sníh a kroupy

Dalším významným vlivem klimatických podmínek jsou sníh a kroupy. Podle normy definujeme maximální průměr krup 15 mm, výjimečně se může vyskytovat větší průměr. Velkým problémem mohou být všechny podoby sněhu, které se mohou vyskytnout. Na vozidlo působí velké množství prachového sněhu, které když se dostane do vozidla, tak může roztát. Velké množství nahromaděného sněhu může omezit funkčnost všech typů zařízení.

Pro nízké zimní teploty připadá v úvahu prachový sníh, ze kterého se stane okolo 0°C mokřý sníh. Nejvíce bývá postižený začátek a konec jedoucího vlaku. Po odstavení vozidla může roztátý sníh znovu zamrznout.

V Tab. 7 jsou uvedeny jednotlivé třídy výšky sněhu, ve specifikaci musí být také uvedeno provozní požadavky týkajících se sněhu, provoz vozidel v těchto podmínkách, tak i způsoby odstraňování sněhu.

Tab. 7 Třídy výšky sněhu ²

Třídy	Výška sněhu nad temenem kolejnice [mm]
S1	0 až 250
S2	250 až 400
S3	400 až 800

Při zamrznutí roztátého sněhu může dojít k vytvoření ledu a je postupné padání za jízdy vozidla a poškození určitých zařízení vozidel, je nutno předpokládat tyto podmínky pro všechny zařízení instalované jak uvnitř, tak vně vozidla.

3.4.1 Vliv prachového sněhu na chlazení motorů

Při nasávání vzduchu do chladicího systému trakčních motorů hraje roli, kudy ho přivádíme. Dva konstrukční návrhy ventilátoru, první typ je umístění v podvozku u trakčních motorů. V tomto případě nasávaný vzduch přivádíme spodkem vozidla. Výhoda tohoto systému je, že můžeme ventilátor pohánět od motoru nebo můžeme mít nezávislý systém. Velkou nevýhodou je v zimních obdobích, kdy se nám může dostat prachový sníh do nasávacího otvoru a může dojít k ucpání a následnému přehřátí TM.

Tento problém můžeme vyřešit umístěním nasávání vzduchu na střešku vozidla. Nevýhodou je vedení chladicího vzduchu ze střechy až na podvozek vozidla (prostor uvnitř

vozidla, extra pohon ventilátoru na střeše). Může být rovněž řešeno zavedením profuku filtrů reverzním směrem vzduchu, čímž se filtry vyčistí.

3.5 Sluneční záření

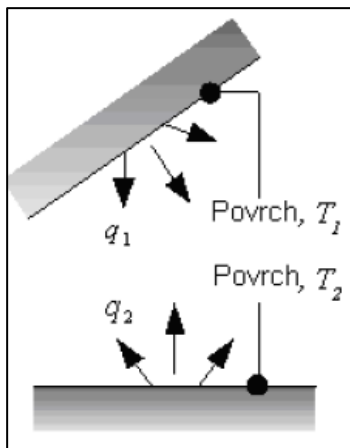
Všechny vozidla jsou vystavené vlivu slunečního záření, podle normy ČSN EN 50125-1 nesmí být vozidla tímto zářením ovlivněny. Sluneční záření je důležité při řešení klimatizačních podmínek uvnitř vozidla. Podle zeměpisné šířky se musí brát v úvahu tepelné působení slunečního záření dle Tab. 8. Dále je nutné věnovat pozornost UV záření a jeho vliv na určité části vozidla (zejména na syntetické materiály).

Tab. 8 Třídy slunečního záření ²

Třídy	Sluneční záření [W/m ²]
R1 (nízká)	700
R2 (vysoká)	1120

3.5.1 Přenos tepla zářením

Jeden ze způsobů přenosu tepla je přenos pomocí záření (radiace) je uskutečňován elektromagnetickým vlněním určité vlnové délky. Každý povrch emituje nějaké teplo s konečnou teplotou. Těleso může teplo vyzařovat a také pohlcovat (Obr. 12).



Obr. 12 Schématické znázornění radiace mezi dvěma povrchy ⁹

3.5.2 Vliv slunečního záření na stárnutí materiálu

Sluneční záření má největší vliv na stárnutí polymerů, laků. Vliv záření na stárnutí polymerů především ultrafialové záření, které je součástí slunečního záření. Ultrafialové záření obvykle poruší vazbu mezi dvěma atomy v daném řetězci makromolekuly a ta se rozpadá na menší celky a ty následně reagují s kyslíkem (odborně se tomuto ději říká fotooxidace). Oxidace začíná na povrchu a postupně se dostává do větší hloubky.

V důsledku oxidace materiál má tendenci křehnout a bude méně pružný. Při následném mechanickém či teplem namáhání může dojít na jeho povrchu ke vzniku trhlin, které mohou časem způsobit destrukci polymeru.

Není nutné, aby polymery byly vystaveny přímému slunečnímu záření, jelikož přes 50 % UV záření přichází z atmosféry, bude probíhat proces degradace i ve stínu. Rychlost degradace závisí na intenzitě a množství absorbovaného UV záření. Záleží také na místě provozu vozidla, v severních oblastech se množství UV záření mění s roční dobou v rovníkových oblastech je variabilita minimální. Celkové množství UV záření se však na různých místech Země příliš nemění.

Pryže proti slunečnímu záření nejsou odolné a musí se dbát na jejich správné konstrukční umístění. Pokud jsou používány v přímém kontaktu se slunečním zářením musí být proti záření chráněny, nejčastěji pomocí úpravy (například světelné stabilizátory tzv. UV absorbéry, látky absorbující UV záření).

4 Rozbor vozidlových skupin

Při posuzování vlivu klimatických podmínek je třeba vozidlo rozdělit na konstrukční prvky a provést jeho analýzu za účelem eliminace poruch či případných poškození.

4.1 Skříň vozidla

Skříň vozidla se dá obecně považovat jako veškerá nosná konstrukce nad sekundárním vypružením. Spadá pod to hrubá stavba, vnitřní a vnější obložení a také vybavení interiéru. U hrubé stavby se snažíme dosáhnout nízké hmotnosti, ale za zachování dalších důležitých vlastností, a to zejména pevnosti (dle ČSN EN 12 663), spolehlivosti, požární bezpečnosti a odolnosti.

V současné době jsou používány tři základní koncepce hrubé stavby skříně:

- diferenciální stavba,
- integrální stavba.

4.1.1 Diferenciální stavba

Diferenciální ocelová konstrukce je samonosná konstrukce, která je složena ze spodní stavby, střechy, čelnic a bočnic. Spodní stavba je složena z podélníků a příčníků, které jsou vzájemně svařeny.



Obr. 13 Diferenciální ocelová hrubá stavba ¹²

Výhodou diferenciální ocelové hrubé stavby je pro menší průjezdné průřezy při využití prostoru pro izolaci. Tenké plechy dovolují použití větší vrstvy izolace.

4.1.2 Integrální hrubá stavba

Základ integrální hrubé stavby tvoří protlačované hliníkové profily, které se táhnou po celé délce vozu. Každý profil tvoří nosnou strukturu skříně, jsou v něm také začleněny prvky pro upevnění zařízení v interiéru vozidla.

Výhodou hliníkové hrubé stavby je její hmotnost a také dobré vlastnosti při nízkých teplotách. Nevýhoda je jejich tloušťka a tím pádem omezené možnosti izolace při menším průjezdném průřezu.

4.1.3 Vliv vlhkosti na hrubou stavbu

Největší vliv vlhkosti na hrubou stavbu je stav, při kterém teplota vzduchu klesne pod rosný bod a dojde k maximálnímu nasycení vodními parami. Výrazné rozdíly mezi provozní teplotou vozidla a teplotou okolního prostředí mají za následek situaci, kdy se kondenzace stává skutečným problémem. Pokud je zařízení provozováno při teplotách nižších než teplota okolí, zvyšuje se riziko kondenzace. Chladný povrch zařízení je náchylný ke kondenzaci, pokud jeho teplota poklesne pod rosný bod, což má za následek kondenzaci vodní páry ze vzduchu na povrchu.

Pokud vodní pára pronikne do izolačního systému, kondenzace mezi izolací a zařízením může způsobit korozi, což s sebou přináší významné ekonomické a bezpečnostní důsledky. Vnitřní a vnější vzduch mají přibližně stejnou % vlhkost, ale venkovní vzduch je v mínusových teplotách velmi suchý a obsahuje až 10x méně vody než vzduch v interiéru. Tlačí-li se vodní pára z vozidla přes konstrukci ven, hrozí nebezpečí, že někde narazí na studené místo a začne tady docházet k její kondenzaci. Pokud se v konstrukci na kondenzuje menší množství vodních par, které je schopné se v letních měsících zpět odpařit.

Takto opakovaně zvlhčovaná oblast ve konstrukci se nazývá kondenzační zóna. U nezateplených stěn se kondenzační zóna pohybuje kolem jejich středu, u vnitřního zateplení se kondenzace nebezpečně pohybuje mezi vnitřní izolací a vnitřním povrchem stěny. U vnějšího zateplení se kondenzační zóna posunuje do izolantu. Důležité je proto navrhnout dostatečně silnou tloušťku izolantu, tak aby kondenzace vodních par vznikala v izolantu, a ne na rozhraní izolace a podkladu. Pokud špatně navrhne izolaci, může dojít ke korozním místům na hrubé stavbě.

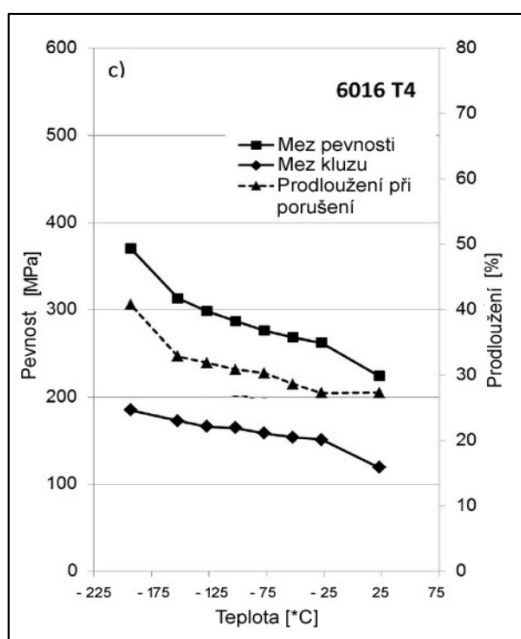
4.1.4 Vliv teploty na hrubou stavbu

Vliv teploty na hrubou stavbu má velký dopad na bezpečnost vozidla. Jak už jsem poukázal v kapitole 3.2, při velmi nízké teplotě dochází k tepelné roztažnosti materiálu, tedy dbát na vhodný výběr materiálu hrubé stavby (diferenciální a integrální stavba). Hrubá stavba musí splňovat požadavek na skladování -50°C , materiál nesmí po zachlazení zásadně měnit své vlastnosti. Konstrukce hrubé stavby musí počítat s přechody mezi nízkými teplotami (při stání vozidla) a provozními teplotami (při provozu vozidla), kde se může teplota výrazně měnit.

Výběr vhodného typu materiálu skříně:

Při výběru vhodného materiálu skříně vozidla se musíme zabývat chováním materiálu při nízké teplotě (tepelná roztažnost materiálu, pevnost materiálu a jeho bezpečnost), možností izolace skříně (průjezdny průřez, tloušťka profilů). Také povrchová ochrana hrubé stavby musí být odolná vůči nízkým teplotám.

Hliník za běžné teploty má poměrně dobrou pevnost. Některé slitiny hliníku mají měrnou pevnostní charakteristiku srovnatelnou či dokonce lepší jak u ocelí. Slitiny hliníku mají v některých případech dokonce lepší vlastnosti za nízkých teplot než za teplot pokojových. Na obrázku Obr. 14 je graficky zpracován průběh pevnosti při nízkých teplotách až do pokojové teploty, lze vidět že od pokojové teploty 20°C do zhruba -100°C se pevnostní charakteristika příliš nemění, ovšem potom výrazně stoupají.



Obr. 14 Změna pevnosti, meze kluzu a prodloužení při nízkých teplotách u slitiny Al 6016 ¹³

Při výběru ocelové hrubé stavby je třeba brát v potaz mechanické vlastnosti oceli při nízkých teplotách. Ocel dělíme do tří kategorií:

- oceli pracující do teplot -50°C ,
- oceli pracující do teplot -100°C ,
- oceli pracující za teplot blížících se teplotě absolutní nuly.

Výhodou použití ocelové hrubé stavby je možnost použití větší vrstvy izolace.

4.1.5 Eliminace a opatření proti vlivu prostředí na hrubou stavbu

Jak už bylo řečeno je potřeba dbát na výběr materiálu. Nejlépe se jeví integrální hrubá stavba z hliníkových slitin, díky mechanickým vlastnostem. Z vnitřní strany bude hrubá stavba odizolována, tak aby nevznikal rosný bod na stěnách hrubé stavby, ale v izolaci a tím se odstranil problém s vlhkostí a následnou korozí.

Z vnějška musí být hrubá stavba chráněna před okolními vlivy. Musí být vybrány správné nátěry, které vydrží nízké podmínky a zaručí nám požadovanou ochranu. Před aplikací nátěrů by povrch měl být čistý, zbavený oxidů, mastnot a jiných nečistot, aby nátěr splňoval požadovanou odolnost a životnost. Mezi vhodné organické povlaky patří:

- celulózové nátěry – odolávají vodě, povětrnostním vlivům a mají dobré izolační vlastnosti,
- olejové nátěry – velmi dobrá odolnost proti povětrnostním vlivům a dlouhá životnost,
- syntetické nátěry – odolávají chemikáliím, odolné proti povětrnostním vlivům.

4.2 Vstupní dveře

Vstupní dveře slouží k nástupu a výstupu cestujících a obsluhujícího personálu a jsou na ně kladené vysoké bezpečnostní nároky. Oddělují vnitřní prostor vozidla od vnějšího prostředí. Jedná se o masivní typ dveří, které musejí odolávat různým tlakovým rázům, povětrnostním vlivům okolního prostředí.

U regionálních jednopodlažních jednotek se nejčastěji setkáme s dvoukřídlými dveřmi pro největší možný nástupní prostor a tím lepší a rychlejší výměnu cestujících. To přináší také své nevýhody, a to ve velké výměně tepla. Pro pohon dveří se používá nejčastěji elektro pneumatický systém a s mechanicky spojenou stoupačkou pro komfortnější nástup a výstup cestujících.



Obr. 15 Dvoukřídlé externí dveře ⁷

4.2.1 Analýza vlivu klimatických podmínek na externí dveře

Dveře podobně jako skříň vozidla je v přímém kontaktu s vnějším prostředím. Má na ně vliv jak extrémní teplota, tak také vlhkost, sníh a led. S velmi nízkou teplotou je potřeba dbát na výběr materiálu dveří. Jelikož dochází k velké výměně tepla (dveře se během hodiny až 10x otevrou a zavrou) a materiál dveří musí snášet teplotní rozdíly, kdy v zavřeném stavu se zahřejí a při otevření zase ochlazují, tak použitý materiál nesmí mít velkou roztažnost. Pokud by došlo k velké změně rozměrů dveří mohlo by to způsobit nedovření dveří, bezpečnostní riziko. Velké teplotní rozdíly při otevírání a zavírání dveří může způsobit kondenzaci vlhkosti následné ulpívání na povrchu dveří což může mít za důsledek zamrznutí a znemožnění otevření dveří a jejich správnou funkci.

Pro pneumatické a elektrické části pohonu dveří mají největší vliv jak teplota, tak také vlhkost. Vlhkost se nesmí dostat do částí pohonu a narušit jeho činnost. Bezpečnostní prvky dveří nesmějí být v přímém kontaktu s vnějším prostředím. Například opatření proti možnému sevření cestujícího. Systém fungující na principu gumové lišty s vnitřní vzduchovou kapsou, v gumové kapse je umístěný elektricky vodivé pásy, které při kontaktu předávají informaci řídicí jednotce. Tyto pásy jsou náchylné na vlhkost, proto je důležité je odizolovat, tak aby nedocházelo k vniknutí a nashromáždění vlhkosti.

4.2.2 Opatření proti vlivu klimatických podmínek

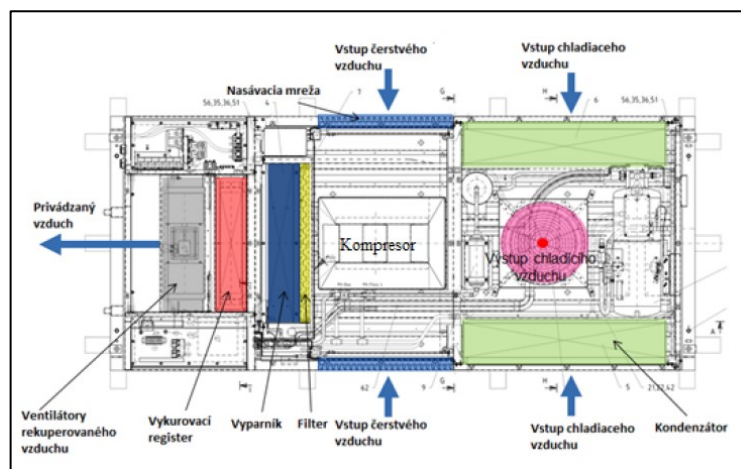
Dbát na výběr materiálu dveří a na jejich izolaci. Výběr materiálu nám výrazně zlepší tepelnou roztažnost dveří a tím zabrání špatnému dovření. Pro eliminaci zbytkové roztažnosti musí být dveře opatřeny pryžovým těsněním, který musí mít předepsané vlastnosti, aby zvládal nízké teploty a nedocházelo k její rychlé degradaci. Opatření čidel pro detekci vlhkosti v pohonu dveří. Tento systém by měl zabránit většímu poškození pohonu a vyřazení dveří z provozu. Pokud dochází k častému zamrznutí dveří, které brání v jejich otevírání, je potřeba na dveře aplikovat prostředek proti zamrznutí.

Opatřit musíme také konstrukci výsuvného schůdku. Výsuvný schůdek může být zasouván buďto do kapsy v hrubé stavbě anebo pod vůz. Obě varianty mají své výhody a nevýhody. Pokud se schůdek zasouvá do kapsy v hrubé stavbě, tak je chráněn před vlivem klimatických podmínek, ale musí být opatřen smetákem proti nashromáždění práškového sněhu a tím ucpání kapsy pro schůdek. Také musí být hrubá stavba na toto konstrukční řešení dimenzována (potenciální kritický bod v pevnosti hrubé stavby). Konstrukční řešení schůdku pod vozem je odolnější proti nánosům sněhu a nedojde k oslabení hrubé stavby, ale musí fungovat ve velmi nízkých teplotách.

4.3 Klimatizace a topení

U moderních vozidel se používá univerzální jednotka HVAC, volně přeloženo jako topení, větrání a klimatizace (Obr. 16). Slouží, jak už z názvu vyplívá, k topení v zimních měsících, chlazení v letních měsících a také k větrání vozů. Jednotku můžeme rozdělit na tři základní části:

- chladicí jednotka – se skládá ze základních komponentů:
 - kompresor,
 - kondenzátor,
 - výparník,
 - expanzní ventil.
- jednotka pro úpravu vzduchu – má za úkol regulovat a upravovat množství vzduchu, mezi hlavní části patří:
 - topná tělesa,
 - vzduchové filtry.
- elektronická jednotka – pomocí ní řídíme a ovládáme celou jednotku.



Obr. 16 Klimatizační jednotka HVAC ¹⁴

4.3.1 Analýza vlivu klimatických podmínek na klimatizaci, topení

Pro vytápění vnitřních prostorů pro cestující se nejčastěji používá teplovzdušného vytápění. Topný výkon je soustředěn do výměníku, který je umístěn nejčastěji na střeše vozidla a ten ohřívá vzduch, který přivádíme do vozu. Vzduch, který ohříváme ve výměníku, nasáváme přes ventilátory a vzduchové filtry. Zde je první vliv ovlivňující funkčnost topícího celku. Nasávaný vzduch má velmi nízkou teplotu, která ovlivňuje vzduchové filtry a vedení vzduchu v systému. Vzduchové filtry musejí vydržet nápor práškového sněhu, který je nesmí ucpat ani žádným způsobem poškodit. Vzduch je ve výměníku ohříván a dále rozváděn do prostoru pro cestující.

Dalším vlivem, na který si musíme dát pozor je vlhkost, která se může tvořit na povrchu jednotky. Vlhkost se může nashromáždit a poté při odstavení soupravy dojde k zamrznutí a možnému poškození jednotky.

4.3.2 Opatření proti vlivu klimatických podmínek

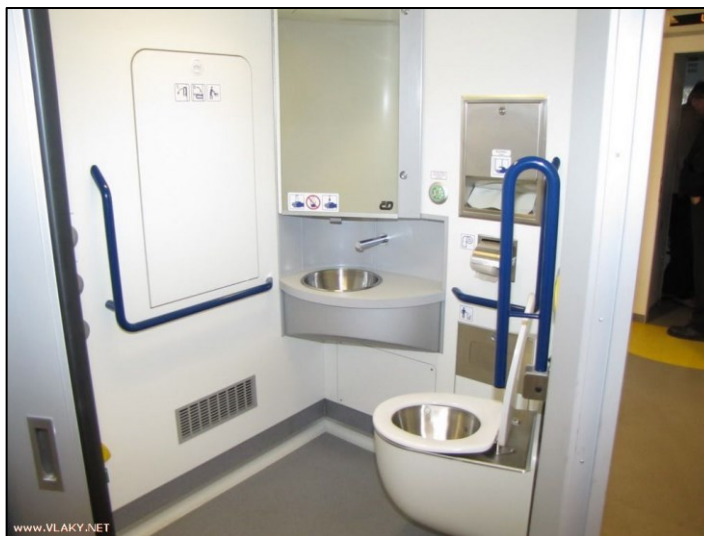
Filtry je potřeba v pravidelných intervalech udržovat (čistit, kontrolovat jejich stav) či případně je vyměnit. Při zanedbání údržby či výměny filtrů může dojít k výpadku až poškození jednotky vlivem jeho přehřátí. Také práškový sníh může ucpat filtraci vzduchu a může dojít k přehřátí jednotky.

Proti nadbytečné vlhkosti musí být jednotka zaizolována, aby se vlhkost nedostala k důležitým a háklivým částem jednotky. Tomuto můžeme také zabránit pomocí údržbových úkonů, kdy vozidlo bude muset být v tzv. aktivním odstavení a jednotka bude temperována.

4.4 Toalety

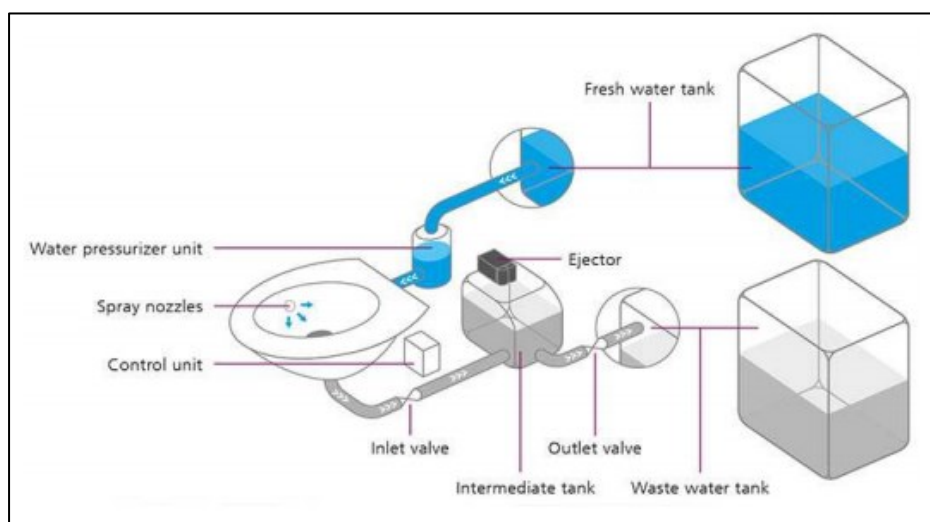
Evropská legislativa definuje dva základní druhy WC a to univerzální a standartní.

V moderních vozidlech se používají tzv. UNI WC (Obr. 17). Jedná se o univerzální vakuové toalety, které se vyrábí jako celek.



Obr. 17 UNI WC buňka ¹⁵

Obsahují veškeré hlavní příslušenství toalety (toaleta samotná, umývací pult a umyvadlo, přebalovací pult), komplexní systém vodního hospodářství (nádrže, čerpadla, vývěvy, řídicí jednotka toalety apod.). Základní princip vakuové toalety můžeme vidět na Obr. 18.



Obr. 18 Princip toalety ¹⁶

4.4.1 Analýza vlivu klimatických podmínek na WC systém

Největší vliv na vakuový toaletní systém má teplota. Celá WC buňka by měla být správně zaizolovaná, aby nedocházelo k snížení teploty uvnitř buňky a tím zamrznutí nashromážděné vody jak už na podlaze, ve vodovodních trubkách či kondenzace na stěnách. Ve starších vozidlech se v zimním prostředí řešila problematika zamrznutí vody tím, že se vypustila na kolejiště. To už v novějších vozidlech není možné, proto se používají uzavřené odpadní systémy, které jsou na teplotu háklivější. Pokud dojde k zamrznutí vody nebo fekálií v nádrži může dojít až k roztrhnutí nádrže a tím dlouhodobě vyřadit toaletu z provozu.

Nádrže na čistou vodu a fekálie musejí být zaizolovány, tak aby odolávali teplotám až -50°C . V případě nouze musí být toaletní buňka vybavena zařízením, které umožní vypustit obsah nádrže, aby nedošlo k poškození systému. Nádrže musejí být také vybaveny hladinovým snímačem, který snímá hladinu naplnění nádrže. Systém musí být vybavený vyhříváním, aby mohl být temperován a udržován v provozu (zmenšení rizika zamrznutí).

4.4.2 Opatření proti vlivu klimatických podmínek

Důležité je řešit umístění nádrží na fekálie a čistou vodu. Tyto nádrže mohou být umístěné uvnitř vozidla (nevýhodou jsou větší nároky na potřebné místo uvnitř vozidla a tím menší prostor pro cestující) nebo umístění pod vozidlem (problematika zaizolování a udržení provozní teploty nádrží, riziko zamrznutí nádrží). Při teplotách pohybujících se okolo -50°C je vhodnější umístění nádrží uvnitř vozidla i za cenu menšího prostoru pro cestující.

Ochranný systém toalety má za úkol při teplotě nižší jak $+5^{\circ}\text{C}$ v nádrži na čistou vodu po předepsanou dobu, dojde k samovolnému vypuštění systému, aby nedošlo k nevratnému poškození nádrže.

4.5 Pryžové části a provozní kapaliny

4.5.1 Pryžové části

Pryž je směs přírodního nebo syntetického kaučuku, či jejich kombinací, plniv, vulkanizačních činidel, urychlovačů vulkanizace, retardérů, pigmentů, změkčovadel a dalších přísad, která se získává vulkanizací (zesít'ováním), tj. působením tepla.

4.5.2 Vliv klimatických podmínek na pryž

Stárnutí pryží je kombinovaný proces mezi pryžovým materiálem a různými faktory prostředí (Tab. 9), jako je např. tlak, teplota okolí, vlhkost, ultrafialové záření, kyslík, ozon, mechanické namáhání.

Tab. 9 Faktory ovlivňující stárnutí pryže ²⁶

Faktor stárnutí	Typ stárnutí
Teplota	Termo-oxidační
Vlhkost	Hydrolýza
UV záření	Foto-oxidace
Kapaliny, plyny	Chemická degradace

Tepelné stárnutí

Hlavní příčinou degradace a zkrácení životnosti pryže je tepelné namáhání. To se projevuje obvykle dvěma významnými jevy. První jev je pokles koncentrace plastifikátorů v důsledku odpařování nebo vytěkáváním ven z materiálu. Druhým jevem tepelného stárnutí je zvyšování nebo snižování hustoty zesílení díky štěpení molekulových vazeb a opětovném spojování. Při působení velmi nízkých teplot dochází u pryží k ztrátě jejich pružnosti, smršťují se a zvyšuje se jejich tuhost a tvrdost.

Vlivy teploty lze omezit správným výběrem materiálu, které splňují kritické faktory jako jsou nízkoteplotní odolnost, tvrdost, teplotní smrštění a tvar těsnění.

Atmosférické stárnutí

Další ze zásadních vlivů na stárnutí pryže má atmosféra především kyslík v ní obsažený. Jeho vliv se projevuje při působení slunečního záření. Destrukce je způsobená mírnou oxidací polymeru. Negativní vliv kyslíku v praxi zůstává po určitou dobu skryt a projevuje se až při používání v praxi. Dochází ke křehnutí a ztrátě kaučukovitého charakteru pryže. Zhoršuje se pevnost a dynamické vlastnosti.

4.5.3 Maziva

Maziva mají za úkol se postarat o dokonalé mazání ploch ložisek, aby nedošlo ke styku kovu na kov. Také mají funkci protikoroze, kde zabraňují korozi styčných ploch ložiska. Stejně je to i s prachovými částicemi, které se nesmí dostat mezi vnější a vnitřní kroužek ložiska. Dále zabránění vniknutí vlhkosti do styčných ploch, kde nám vlhkost může způsobit korozi a snížit kvalitu maziva.

Základní rozdělení maziv:

- a) Plastická maziva
- b) Olejová maziva
- c) Tuhá maziva

Nejvhodnějším způsobem mazání valivých ložisek, obzvláště u trakčních motorů je plastické mazivo. Plastické mazivo u valivých ložisek má několik výhod, zabraňuje vnikání nečistot, vlhkosti, kapalin do ložisek. Další výhodou plastických maziv je dlouhá životnost pro účely trvalého mazání.

Mazací schopnosti maziva se časem mění vlivem znečištění, vlhkosti, mechanickým namáháním, výkyvům teplot.

4.5.4 Opatření proti provozním teplotám maziv

Dolní mezní hodnota je nejnižší teplota, při které je ještě možné ložisko s plastickým mazivem uvést do pohybu. Tuto teplotu určuje hlavně typ použitého oleje a viskozita maziva.

Horní mezní hodnota je dána zahušťovadly maziva. U plastických maziv je určující bod skápnutí, při němž dochází ke ztrátě jeho konzistence a začíná kapalnět. Je nutné počítat jak s okolní teplotou, tak také s oteplením ložisek za provozu.

Startovací moment při rozběhu ložisek mazaných plastickým mazivem v prostředí s nízkými teplotami může být kritickým faktorem. Některá plastická maziva jsou schopna odpovídajícím způsobem fungovat, pokud je ložisko v provozu, ale odpor proti počátečnímu pohybu může být enormní.

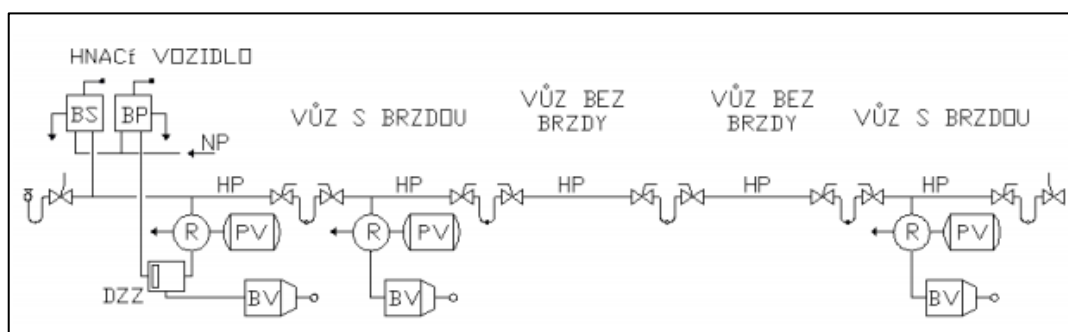
Proto je důležité už při návrhu vozidla počítat s nízkými teplotami a podle toho také vybrat správná maziva, která budou odolávat velmi nízkým teplotám a budou zaručovat dobré mazací schopnosti i po oživení vozidla ve venkovním prostředí. Mohou být použita maziva na bázi lithia jsou víceúčelová a používají se v mnoha průmyslových aplikacích

a ložiscích kol, také mohou být použity syntetické oleje, které jsou určené do provozních teplot od -73°C .

4.6 Brzdové ústrojí

Brzda je hlavní bezpečnostní prvek kolejových vozidel. Proto jsou podrobeny přísným normám a zkouškám, aby byla zajištěna jejich plná funkčnost a bezpečnost provozu. Brzdy jako takové slouží k bezpečnému a včasnému zastavení vozidla, snížení rychlosti anebo k zajištění vozidla proti samovolnému rozjezdu.

Brzda se skládá ze dvou základních částí, a to mechanická a pneumatická část brzdy. Mechanická část má za úkol vyvolat na jízdní plochu (dvojkolí, disk brzdy, kotouč brzdy) dostatečně velkou třecí sílu, tak aby došlo k brzdění vozidla a zároveň nebyla překročena mez adheze. Pneumatická část brzdy je nositelem práce působící na mechanickou část pomocí stlačeného vzduchu. Pro rozvod stlačeného vzduchu po celé soupravě slouží hlavní potrubí, které je umístěno pod každým vozidlem (Obr. 19).



Obr. 19 Uspořádání samočinné a přímočinné brzdy vlaku ¹⁷:

NP-napájecí potrubí, HP-hlavní potrubí, BP-brzdíč přímočinné brzdy, BS-brzdíč samočinné brzdy, R-rozvaděč, PV-pomocný vzduchojem, DDZ-dvojitá zpětná záklopka

4.6.1 Analýza vlivu klimatických podmínek na kotoučovou brzdou

Použitím kotoučové brzdy v konstrukci kolejových vozidel došlo k odstranění negativních vlastností špalíkové brzdy, které nebylo možné konstrukčními úpravami odstranit. Jedná se především o měnící se součinitel tření mezi brzdovým špalíkem a jízdní plochou kola v závislosti na rychlosti vozidla a teplotě.

Brzdový kotouč musí vydržet namáhání teplotou až 600°C i při velmi nízkých teplotách okolního prostředí. Proto je důležité dbát na volbu materiálu kotouče. Nejběžnější materiály brzdových kotoučů:

- šedá litina,
- hliníková slitina s kovovou maticí,
- keramika, uhlíkový kompozit.

Každý z těchto materiálů snáší teplotní rozdíly jinak (Tab. 10).

Tab. 10 Materiály a jejich vlastnosti ¹⁹

Materiál	Hustota [$kg \cdot m^{-3}$]	Tepelná vodivost [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	Součinitel teplotní roztlačnosti [$\times 10^{-6} \cdot K^{-1}$]
Šedá litina	7800	62	10 až 13
Hliníková slitina	2700	182	18 až 25
Keramika+ uhlíkový kompozit	1700	300	0,1 až 1,5

Velmi nízké teploty mohou také způsobit zamrznutí kotoučů brzdy a snížit tím účinnost brzdy.

4.6.2 Analýza vlivu klimatických podmínek na pneumatickou část brzdy

Nejnáchylnější část brzdy na vnější prostředí je pneumatická část brzdy. Jak už bylo řečeno pneumatická část brzdy slouží k ovládání a vedení stlačeného vzduchu k jednotlivým brzdovým válcům.

Kompresory slouží k výrobě a distribuci stlačeného vzduchu. Jak už jsem zmínil v kapitole 3 největší problém je vlhkost nasávaného vzduchu a možnost kondenzace a následná koroze hlavního potrubí. Při nízkých okolních teplotách je vyšší pravděpodobnost kondenzace. Okamžik, kdy dochází ke kondenzaci vodní páry v zařízení stlačeného vzduchu (rosný bod), se přímo vztahuje k okolní teplotě. Pokud se teplota okolního vzduchu pohybuje pod bodem mrazu, potrubí stlačeného vzduchu, odvaděče kondenzátu a filtry mohou zamrznout. Dokonce i chladič kompresoru může zamrznout a poškodit se, protože mráz zasáhne chladič přímo přes odvzdušňovací ventil.

Vzhledem k chladnému okolnímu vzduchu zůstává provozní teplota kompresoru nízká, což může vést k vlhnutí oleje. To má negativní důsledky pro mazání stroje a může způsobit selhání nebo poruchu. Kompresorová jednotka musí obsahovat termostaty, které se budou starat o temperování vzduchojemů, sušiček a ventilů.

Ventily potrubí či vzduchojemů musí být navrženy, tak aby vydržely nízké teploty a extrémní podmínky (práškový sníh a nečistoty). Ošetření možného poškození ventilů ledem apod.

4.7 Trakční a elektrické vybavení

Mezi trakční a elektrické vybavení, které je v přímém kontaktu s vnějším prostředím je například sběrač elektrického proudu vozidla, trakční motory, trakční transformátor a měniče. Všechna tato zařízení je potřeba chránit před vnějším prostředím a jeho působením.

Elektrická zařízení provozována v extrémních podmínkách přinášejí řadu rizik. Prvotní rizika jsou bezpečnostní a souvisejí s možností úrazu elektrický proudem anebo selháním funkce elektrického zařízení. Proto je v první řadě nutné zařízení bezpečně odstavit pokud dojde k jeho selhání.

Mezi hlavní degradační faktory na elektrické zařízení jsou:

- teplota okolí a vlhkost,
- nadmořská výška,
- výskyt cizích pevných těles, korozivních látek,
- sluneční záření, pohyb vzduchu.

4.7.1 Vliv teploty a vlhkosti

Teplota a vlhkost má výrazný vliv na fungování jednotlivých elektrických zařízení. Teplota povrchu jednotlivých částí má výrazný vliv na izolační stav elektrického zařízení. Při vysokých relativních vlhkostech vzduchu může docházet na povrchu ke kondenzaci vodních par a tím snížení izolačních vlastností.

Nízké teploty mají vliv na sběrače elektrické energie, chlazení trakčních motorů, trakční transformátor a měniče:

Sběrač elektrické energie

Rozvod elektrické energie u vozidel je u vlaků realizován nadzemním vedením pomocí trolejového drátu. Sběrač má za úkol bezproblémový přenos elektrického proudu za jízdy i při zastavení vozidla. Při zdvihnutí sběrače musí vytvářet nepřerušovaný kontakt s trolejí a tím bránit odskokům od troleje, které by vedly k napalování styčných ploch.

Vliv klimatických podmínek na sběrač elektrické energie

Jak už bylo řečeno největší vliv na sběrač má teplota. Extrémně nízká teplota vnějšího prostředí způsobuje zamrznutí styčných ploch smykadla sběrače a může způsobit tenkou vrstvu a tím znemožnit kontakt smykadla s trakčním vedením. Také systém pro zvedání

a spouštění sběrače může zamrznout a nemusí dojít k zvednutí sběrače nebo v horším případě k zasunutí sběrače do základní polohy.

Trakční motory a transformátory

Trakční motory jsou točivé elektrické stroje, které mění elektrickou energii na energii mechanickou. Podle principu můžeme trakční motory rozdělit na:

- stejnosměrné motory,
- synchronní motory,
- asynchronní motory,
- střídavé stroje s komutátorem.

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který je schopen měnit parametry elektrické energie při totožné frekvenci. Významnou roli představuje při přenosu a rozvodu elektrické energie. Pro přenos na velké vzdálenosti se jimi zvyšuje napětí a zmenšuje proud pro minimalizaci ztrát na vedení a tím se zvyšuje výkon, který je vedením přenášeno.

Vliv teploty a vlhkosti na izolanty trakčních motorů a transformátorů

Izolanty se změnou teploty mění své vlastnosti více či méně v závislosti na konkrétním využitém materiálu. Izolant musí snést široké spektrum zatížení od velmi nízkých teplot až po vysoké teploty při zátěži motoru. Při působení nízkých teplot na izolaci může dojít k ztrátě mechanických vlastností izolace (křehnutí) jejich praskání a porušení izolačních vlastností.

Elektrické vlastnosti izolantů se téměř vždy zhorší právě působením vlhkosti. Dojde k snížení jak vnitřního, tak povrchového odporu a elektrické pevnosti zároveň. Dochází k vytvoření tenké vrstvy vody, která způsobí zvýšení vodivosti. U některých izolantů v případě dlouhodobému vystavení vlhkému prostředí a přítomnosti nečistot dochází v povrchové vrstvičce k vodivému spojení mezi jednotlivými kovovými částmi, které jsou od sebe navzájem oddělené. Povrchová vrstvička se stává elektrolyticky vodivou vlivem polárních látek v nečistotách.

4.7.2 Vliv cizích pevných těles

Cizí pevná tělesa a prachové částice působí zejména problémy v mechanických systémech točivých elektrických strojů. Je častou příčinou zablokování jejich pohybových mechanismů. Drobné částice mohou pronikat pod kryt chránící stroje a může způsobit ucpání strojů, jejich přehřátí a možné poškození.

Jak už bylo řečeno dříve v mé práci, tento problém může také způsobit nashromáždění práškového sněhu v prostorech pro nasávání chladícího vzduchu do systému. Je potřeba dbát na návrh a údržbu čistících filtrů a zabránění možného nashromáždění práškového sněhu či snížení množství prachových částic.

Vlivem cizích částic degradují i ostatní součásti elektrického stroje. Podstatné je škodlivé působení prachu na izolaci, neboť narušení izolace bývá nejčastější příčinou poruch strojů. V elektrických strojích najdeme izolaci z epoxidové nebo silikonové pryskyřice, skla, případně slídy.

Prachové částice působí na izolaci mechanicky. Ve stroji se pohybují v chladícím médiu určitou rychlostí a díky své velikosti jsou schopny proniknout i do těch nejmenších zákoutí. Izolaci mohou narušit nárazy, kdy ostré hrany smítka prachu izolační vrstvu naruší, případně v ní uvíznou. Na vzniklém narušení povrchové struktury se budou snadněji zadržovat další částice a vlhkost, což spolu s vibracemi, teplotou a dalšími provozními vlivy povede k rozvoji poškození.

5 Návrh zajištění bezproblémového provozu vozidla

V kapitole 4 jsem provedl analýzu vlivu klimatických podmínek na komponenty, které jsou tomuto vystaveny. Na tyto problémy je třeba se zaměřit komplexně, od počátku návrhu vozidla až po provoz a údržbu vozidla v daných podmínkách.

5.1 Doporučení při návrhu vozidla

Jak už jsem podotknul klimatické podmínky jsou potřeba řešit už při raném návrhu vozidla. Návrh vozidla musí plně vyhovovat požadavkům příslušné legislativy (EN, předpisy UIC, normy GOST) a musí zaručit splnění bezpečnosti provozu vozidla.

5.1.1 Skříň vozidla, izolace, mechanické díly, chlazení a skladování

Hrubá stavba

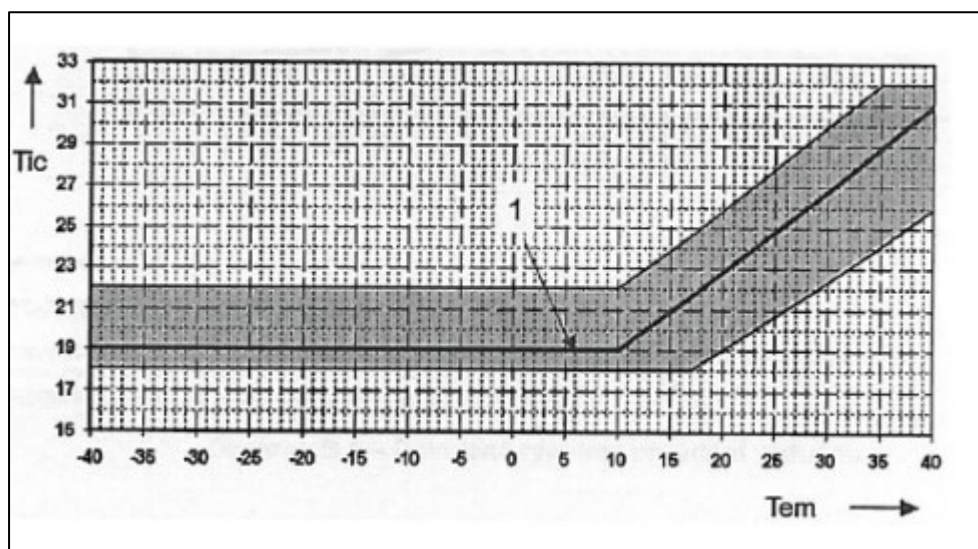
Hrubá stavba je vystavena působení extrémním klimatickým podmínkám, z tohoto důvodu musí splňovat přísné bezpečnostní pevnostní podmínky. Celá skříň musí být navržena s důrazem na velký tepelný odpor a tepelnou roztažnost materiálu. Podle analýzy materiálu, a jeho chování při extrémních teplotách, se vykazuje nejlépe slitina hliníku (integrální stavba). Velkou výhodou, hliníku a jeho slitin, jsou jeho mechanické vlastnosti při nízkých teplotách. Známostou výhodou hliníkových hrubých staveb je také jejich hmotnost a korozivzdornost ve vlhkých či přímořských oblastech.

Dále je potřeba dbát na utěsnění skříně vozidla proti vnikání prachového sněhu (průchody do skříně). Prachový sníh by se mohl dostat přes škvíry ve skříně do vnitřku a poškodit izolaci nebo elektroinstalaci. Materiály použité na hrubé stavbě musí splňovat požadavek na skladování při -50°C (týká se to zejména pryžových částí a plastů). Materiály po zachlazení nesmí měnit své vlastnosti.

Izolace

Izolace skříně musí být navržena s ohledem na velký tepelný odpor a tím zajistit komfortní podmínky uvnitř vozidla. Zvýšený součinitel prostupu tepla při složení bočnic, střechy a podlahy vozidla. Zvýšený součinitel prostupu tepla v oblasti oken, použití dvojskel nebo až trojitých oken v bočnicích a u nástupních dveří. Také zvýšení izolace nástupních dveří. Nutno také prověřit potřebu izolace strojoven, které fungují jako neizolovaná část skříně a tím zhoršují celkový součinitel prostupu tepla skříně a zvyšují celkové tepelné ztráty.

Zajištění tepelného komfortu uvnitř vozidla musí splňovat předepsané normy (ČSN EN 14750-1). Norma předepisuje tzv. regulační křivku, která slouží k doporučení teploty ve vozidle v závislosti na venkovní teplotě (Obr. 21).



Obr. 20 Přípustný prostor pro stanovení regulační křivky vozidel ¹⁰

kde:

Tic [°C]	nastavená vnitřní teplota
Tem [°C]	průměrná vnější teplota
1 [-]	doporučená křivka pro vozidlo

Podle této doporučené regulační křivky bychom při teplotě -40°C měli mít nastaveno 19°C . Je potřeba přihlídnout k faktu, že velká teplotní změna nepůsobí velmi příznivě pro lidský organismus. Takže při skokové změně teploty, kde ve vozidle máme $+19^{\circ}\text{C}$ a mimo vozidlo -40°C může dojít k velkému teplotnímu šoku pro organismus, je tedy otázkou, zda není pro cestující lepší mít ve vozidle nastavenou nižší teplotu i za cenu snížení komfortu.

Mechanické díly

Všechny mechanické díly pro pohon různých zařízení umístěných vně skříně jako jsou sběrač, u kterého kovové materiály (ramena, pružiny, vzpěry, smykadlo) je potřeba navrhovat pro nízké teploty, dále uhlíky a těsnící prvky s ohledem na nízkou teplotu. Poté prvky pohonu u podvozku (těsnící prvky, spojka), zde je potřeba brát v úvahu nečistoty (prachové částice) a práškový sníh, dobře navržená izolace proti těmto vlivům. Také utěsnit bateriovou skříň a skříň pro adaptéry a další různé elektronické zařízení, které jsou umístěné vně vozidla. Mechanické díly brzd a spřahovacích zařízení, které jsou umístěné vně vozidla

musíme dbát na mechanické vlastnosti kovových materiálů, hadic, těsnících prvků a maziv (které musí být navrženy pro nízké teploty).

Z důvodů možnosti závějí sněhu je potřeba brát v potaz mechanickou odolnost pluhu a všech zařízení umístěných na spodku vozidla. Pluh musí prorážet vrstvy sněhu, ledové balvany, které se mohou dostat na kolejiště v oblasti přejezdů (nahrnutí pomocí silničních pluhů) nebo se dostávají do kolejiště při průjezdu vlaků. Buď zvážit odolnost skříní jednotlivých komponentů umístěných na spodku vozidla nebo je přemístit do interiéru vozidla či na střechu.

Systém chlazení a topení

Systém chlazení různých zařízení vnějším vzduchem musí brát ohled na možnost nasátí práškového sněhu a dalších nečistot. Velmi citlivým prvkem na nasátí práškového sněhu je elektrodynamická brzda, citlivost na prachový sníh nasávaný z prostoru podvozku nebo usazovaný při odstavení na střešní mřížce, může docházet k přehřátí zařízení.

Kvůli velmi nízkým teplotám musí dojít k zvýšení výkonu vytápěcích agregátů. Je nutné vyvážit meze mezi výkonem a správným zaizolováním skříně (díky správné izolaci nemusí být tak velký požadovaný výkon na topné zařízení).

Skladování

Všechny použité materiály musí splňovat požadavek na skladování při teplotách -50°C . Týká se to zejména všech plastových a pryžových výrobků a také elektroniky. U materiálů, kterým hrozí zamrznutí nebo omezení jejich funkce vlivem nízké teploty nebo nánosem sněhu, je potřeba zajistit ohřev nebo jejich přesunutí do chráněných prostorů jako jsou například:

- odpadová potrubí WC, odsávací hrdla fekálních nádrží,
- pískování (opatření proti vlhkosti, práškového sněhu),
- mazání okolků,
- baterie (účinnost dobíjení při nízkých teplotách),
- elektronické prvky,
- magnetická brzda,
- spřáhla,
- podvozek (brzdové jednotky, vypružení),
- mazadla (nápravová ložiska, převodovky a trakční motory).

Pokud dojde k vychlazení vozidla na nejnižší teplotu musí být zaručeno jeho následné oživení. Potřeba vypracování postupu a zajištění funkce zařízení nutných pro postupné oživení jednotlivých agregátů (kompresor, zvednutí sběrače, start vytápěcích agregátů, temperování ve vytápěné hale).

5.2 Údržba vozidla v zimním prostředí

Zajištění bezproblémového provozu nekončí u jeho návrhu, je nutné také provádět předepsanou údržbu těchto vozidel i pokud se nejedná o zimní podmínky. Při provozu vozidla je nutné provádět pokyny předepsané výrobcem vozidla.

V zimních podmínkách je vozidlo vystaveno extrémním vlivům okolního prostředí. Vozidlo je nutné před uvedením do provozu ošetřit podle návodu na údržbu (NÚ). Jako výrobce můžu doporučit odstavovat vozidlo do depa nebo na kolej s možností použití funkce aktivního odstavení. Odstraňuji tím problémy vystavení citlivých komponentů na vymrznutí a tím omezení jejich funkcí při následném ohřátí vozidla. Další výhodou je také krátká příprava vozidla před odjezdem z depa. Vozidlo by nemělo být vystavováno velkým teplotním změnám, to znamená, že je potřeba minimalizovat přesuny z venkovního prostředí do vytápěné haly a naopak. Tímto zamezíme např. roztátí sněhu na vozidle v hale a jeho následné zamrznutí po vytáhnutí soupravy do vnějšího prostředí.

Pokud se v případě kontroly zjistí, že některý z prvků nefunguje nebo je poškozený je nutné zase postupovat dle pokynů buď nějaké platné dokumentace nebo pokynů v NÚ.

5.2.1 Začátek provozu

Před každým výkonem je potřeba vozidlo vizuálně zkontrolovat, a to zejména tyto části vozidla:

- tlumiče – kontrola primární funkce, trhliny nebo únik oleje,
- elektrická kabeláž – kontrola stárnutí izolace, možné znečištění mazivem, kontrola, zda kabeláž nezasahuje do jízdního profilu (nebezpečí protržení kabeláže),
- hadice – stárnutí, prodření povrchu, znečištění od maziv, promáčknutí v ohybu hadice,
- pryžové díly – stárnutí a kontrola znečištění pomocí maziv,
- těleso uzemňovače – stárnutí,
- pískovací zařízení – kontrola zamrznutí písku, poškození hubice ledem či předmětem na trati, kontrola vlhkosti písku,
- brzdové jednotky – kontrola netěsnosti válce,

- odfukovací ventil, popř. také vyrovnávací ventil – kontrola jejich funkce proti zadření,
- čistící zdrže – kontrola vloženého špalíku,
- nátěr – vizuální kontrola stavu nátěru či stopy koroze.

Dále je třeba nařídit naplnění všech agregátů odpovídající náplní, které jsou předepsané výrobcem zařízení nebo v NÚ, musí splňovat požadavky na extrémní zimní prostředí (olej, kapaliny, směsi). Pokud jsou agregáty naplněny jinou kapalinou, než je předepsaná je potřeba kapalinu vypustit a naplnit novou.

Pro topné zařízení je potřeba provést kontrolu a to zejména:

- kontrola vyčištění vstupní mřížky,
- kontrola ventilátoru, topných těles a bezpečnostních prvků,
- kontrola funkce přímotopů v kabině a v nástupních prostorech.

5.2.2 Údržbové úkony

Provádět pouze vizuální kontroly nestačí. Je potřeba se zabývat také údržbou všech celků, které jsou náchylné na zimní prostředí.

Údržba kompresorů, vzduchojemů a potrubí

Kompresor je potřeba prověřit alespoň 1x týdně. Ověřit, zda činnost všech ohřevů s termostatem v kompresorové jednotce fungují, pokud ne je potřeba je vyměnit. Dále zkontrolovat všechny ohřevy na filtrech a sušičce v jednotce na úpravu vzduchu. Funkce ohřevů je kritická, mohlo by dojít k zanesení práškovým sněhem nebo zamrznutí kompresorové jednotky. Potřeba ověřit činnost všech odkalovacích ventilů jak na filtrech, tak také na sušičce. Prověřit funkčnost snímače teploty oleje kompresoru, může dojít k zanesení chlazení a následné přehřívání kompresoru.

Pro všechny vzduchojemy a potrubí je potřeba pravidelně provádět odkalení, aby nedocházelo k zanesení a případnému ucpání. Je také potřeba pravidelně čistit filtrační jednotky (jednotky pro úpravu vzduchu). Zabezpečit, aby se prostřednictvím vnějšího cizího napájení stlačeným vzduchem ať už ze zdroje stlačeného vzduchu v hale nebo z manipulačních lokomotiv nedostával vlhký nevysušený a nefiltrovaný vzduch do potrubí pneumatických rozvodů.

Údržba toalety

Při údržbě toalet je nutné preventivně zkoušet vypouštění vody (alespoň 1x měsíčně) popřípadě pokud voda nevytéká, tak vyčistit vypouštěcí ventily. Kontrolovat teplotu pod mísou a tím ověřit funkčnost ohřívání prostoru pod mísou, zkontrolovat funkčnost ohřevu zásobníků na čistou vodu a odpad. Zkontrolovat ohřev vypouštěcího potrubí, aby nedocházelo k zamrznutí či k poškození potrubí.

Údržba dveří

Kontrola všech funkčních částí dveří, pneumatický a elektrický pohon. Kontrola maziva pohonů, případně namazat všechny pohonné části vstupních dveří. Kontrola pryžových částí a jejich namazání. Dále je potřeba zkontrolovat funkčnost všech čidel dveří případně jejich oprava. Namazání zámků na vnější nouzi.

Přístroje na střeše

Všechny přístroje na střeše pravidelně (alespoň 1x týdně) kontrolovat, pokud je nějaká část poškozena je potřeba jí vyměnit. Pokud hrozí nebezpečí zamrznutí a vytvoření vrstvy ledu, tak je potřeba přístroje ošetřit postřikem nemrznoucí kapaliny, pokud to výrobce dovoluje.

6 Návrh složení bočnice vozidla

V tomto bodě jsem provedl rešerši složení bočnice, střechy, podlahy, stěn oddílu vozidla, navrhl tři varianty všechny s důrazem na velký tepelný odpor. Podmínky vytápění a větrání vycházejí z příslušné normy ČSN EN 14750-1 a 2 Klimatizace pro městská a příměstská vozidla.

6.1 Podmínky tepelné pohody

Tepelná pohoda je stav, kdy cestující vnímá okolí ideálně (teplota vzduchu, vlhkost, proudění vzduchu,)

Před návrhem tepelně technických výpočtů je třeba stanovit:

- pracovní podmínky a provozní,
- klimatické poměry vně vozidla a uvnitř vozidla,
- požadavky na vnitřní prostory vozidla,
- hlukové požadavky,
- požadavky na výměnu vzduchu a jeho čistotu,
- tepelně technické požadavky na vozidlovou skříň.

Dále norma stanovuje, že:

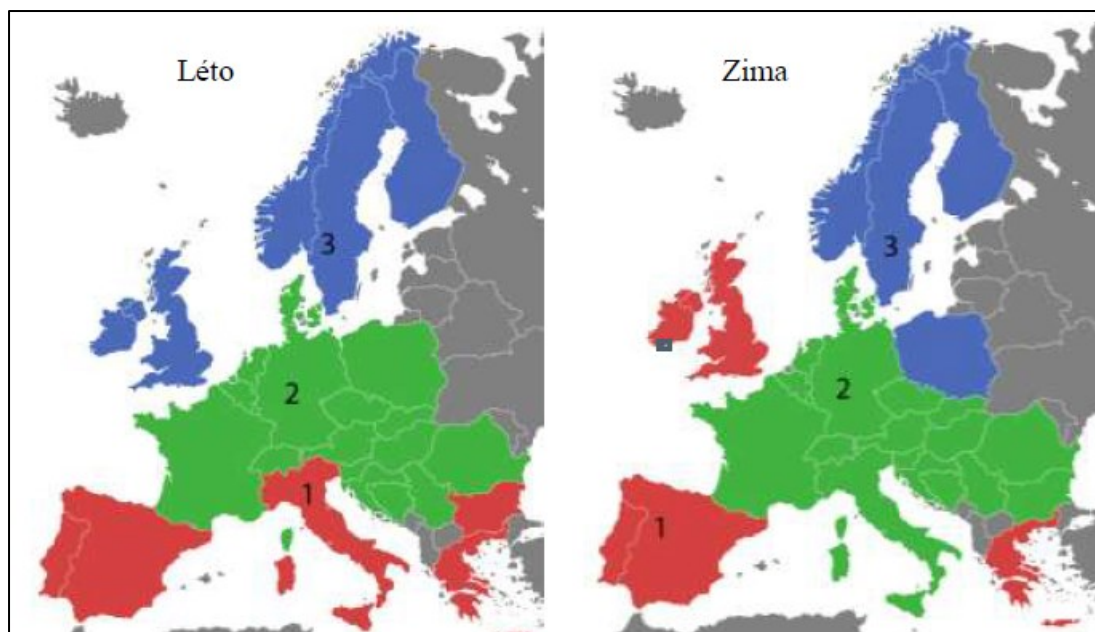
- průměrná teplota uvnitř oddílu pro cestující musí být minimálně $+22^{\circ}\text{C}$ až $\pm 2^{\circ}\text{C}$,
- teplota stěn na povrchu nesmí být nižší o více než 5°C než průměrná teplota uvnitř oddílu,
- teplota přiváděného čerstvého vzduchu a jeho vlhkost je dána jednotlivými podmínkami, kde se vozidlo pohybuje.

Pro množství vháněného vzduchu do oddílu pro cestující je definováno takto:

Tab. 11 Množství vháněného vzduchu do oddílu pro cestující ¹⁰

Vnější teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Množ. vzduchu na osobu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]
-20 a nižší	10
-20 až -5	15
Nad -5	20

Evropa podle norem ČSN EN je rozdělena na 3 základní klimatické zóny pro letní a zimní období. Rozdělení bývalého území SSSR podle normy GOST viz. kapitola 2.2.



Obr. 21 Rozdělení Evropy do klimatických zón¹⁰

Poté pro každou klimatickou zónu platí venkovní teploty vzduchu, velikosti slunečního záření a další hodnoty (Tab. 12).

Tab. 12 Minimální zimní teploty pro jednotlivé zóny¹⁰

Klimatická zóna	Minimální venkovní teplota [°C]
Zóna 1	-10
Zóna 2	-20
Zóna 3	-40

Požadavky na hlučnost klimatizace, ventilace a vytápění nesmí u stojícího vozidla bez cestujících překročit určité hladiny hluku:

- 60 dB pro vyšší požadavky na vozidlo,
- 65 dB pro běžné požadavky na vozidlo.

6.2 Materiály pro složení bočnice vozidla

Před výpočtem je nutné určit konstrukci stěn, jejich tloušťku a složení bočnice vozidla jejich materiály. Jednotlivé typy materiálů závisí na jejich tepelně izolačních vlastnostech. Materiálů použitých pro izolaci není mnoho, musí splňovat jak izolační vlastnosti, tak také odolnosti proti hoření.

6.2.1 Druhy materiálu:

Nejčastěji v praxi se setkáme se třemi základními materiály, které se využívají pro izolaci u kolejových vozidel a základní nástřik proti vibracím:

- a) Antihlukový a antivibrační nástřik – Základní nástřik, sloužící k odizolování stěn skříně a k snížení hluku a vibrací,
- b) Moniflex – Přírodní produkt vyrobený na bázi celulózy, splňuje tvrdé požadavky vlivu na životní prostředí. Používá se jako drenážní vrstva.



Obr. 22 Moniflex²¹

- c) Izolace:
 - Skelná vata – minerální vláknitý materiál na bázi skla. (Příloha 2)
 - Melamin – pěna vyrobená na bázi melaminové pryskyřice. (Příloha 2)
 - Polyester – materiál z velmi jemných polyesterových vláken. (Příloha 2)
- d) Další materiály – méně používané materiály, které se používají méně ať už kvůli hmotnosti, horší izolační vlastnosti, cena, hmotnost materiálů jako jsou:
 - voština,
 - vakuum,
 - vzduch.

Důležitá hodnota pro izolační vlastnosti různých materiálů vyjadřuje součinitel tepelné vodivosti λ , čím vyšší tím lépe materiál vede teplo (Tab. 13).

Tab. 13 Izolační vlastnosti materiálů pro kolejová vozidla ¹¹

Druh materiálu	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
Hliník	204
Sklo	0,76
Polyester	0,029
Moniflex	0,0541
Antivibral	0,605
Skelná vata Isover	0,035
Laminát	0,209
Vzduch	0,024
Argón	0,016
Podlahová krytina	0,160
Melamin	0,035

6.3 Tepelně technický výpočet prostupu tepla

Vzniklé ztráty prostupem tepla jsou závislé na tepelně-izolačních vlastnostech materiálu použitých pro stavbu bočnice vozidla. Izolační vlastnosti materiálu se vyjadřují pomocí součinitele tepelné vodivosti $\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$.

Vlastnosti média v blízkosti povrchu bočnice (vnější a vnitřní prostředí), jsou charakterizovány vnitřním součinitelem přestupu tepla $\alpha_1 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ a vnějším součinitelem přestupu tepla $\alpha_2 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$.

6.3.1 Výpočet součinitele přestupu tepla

Hodnoty vnitřního součinitele přestupu tepla pro stojící vůz jsou zjištěné pomocí experimentu a uvažují se takto:

Tab. 14 Jednotlivé hodnoty součinitele přestupu tepla na vnitřním povrchu stěny ¹¹

Vnitřní součinitel přestupu tepla $\alpha_1 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	
bočnice	8,1
strop	8,7
okno	11
podlaha	6,9

Při výpočtu součinitele přestupu tepla $\alpha_1 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ jedoucího vozidla budu předpokládat, že se vnitřní teploty vozu nezměnily a jsou uvažovány stejně jak pro stojící vůz, a proto budu řešit jen součinitel přestupu tepla pro vnější povrch vozu.

Hodnota vnějšího součinitele přestupu tepla pro stojící vůz volím dle vyhlášky UIC 553 $\alpha_2 = 23 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$.

Pro výpočet vnějšího součinitele přestupu tepla pro jedoucí vůz budu uvažovat konvekci nucenou.^{22, 23}

V prvním kroku jsem vypočítal Reynoldsovo číslo pro určení, zda se jedná o turbulentní proudění, podle vzorce (2):

$$Re = \frac{w \cdot L}{v_{-40}} = \frac{44,444 \cdot 8,8}{0,00001} = 38955289,95 \quad (2)$$

kde:

w	$[m/s]$	maximální rychlost vozidla
L	$[m]$	délka oddílu
v_{-40}	$[m^2/s]$	viskozita vzduchu při teplotě $-40^\circ C$

Dále je potřeba určit způsob proudění:

$$Re > 5 \cdot 10^5$$

$$389,55 \cdot 10^5 > 5 \cdot 10^5$$

Jedná se o turbulentní proudění

Poté se vypočítá Nusseltovo kritérium pro turbulentní proudění podle vzorce (3):

$$Nu = 0,032 \cdot Re^{0,8} = 0,032 \cdot (389,55 \cdot 10^5)^{0,8} = 37809,69 \quad (3)$$

Samotný vnější součinitel přestupu tepla při jízdě vypočteme ze vztahu (4):

$$\alpha_{2 \text{ jzd.}} = \frac{\lambda_{-40} \cdot Nu}{L} = \frac{0,0212 \cdot 37809,69}{8,8} = 91,087 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1} \quad (4)$$

kde:

λ_{-40}	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti vzduchu při teplotě $-40^\circ C$
-----------------	---------------------------------	--

6.3.2 Výpočet součinitele prostupu tepla

Potom součinitel prostupu tepla $k_i [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ se vypočítá dle vztahu (5), charakterizuje izolační schopnost jednotlivých částí oddílu.

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_2}} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (5)$$

kde:

α_1 $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ vnitřní součinitel přestupu tepla

α_2 $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ vnější součinitel přestupu tepla

R_{red} $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ redukovaný tepelný odpor konstrukce

Redukovaný tepelný odpor $R_{red} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ se vypočítá dle vztahu (6), charakterizuje tepelný odpor konstrukce. Hodnoty jsou uvažovány z praxe v Tab. 15.

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}] \quad (6)$$

kde:

R $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ tepelný odpor konstrukce

P_1 [%] přírážka na zvýšenou tepelnou vodivost tepelných můstků

P_2 [%] přírážka na zhoršující provozní a montážní vlivy

Tab. 15 Koeficient přírážek pro tepelný odpor konstrukce ²¹

Koeficient	P_1 [%]	P_2 [%]
Stěna	20	18
Podlaha	7	27
Strop	19	18
Okno	45	0
Dveře	80	0

Potom tepelný odpor konstrukce R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] se vypočítá dle vztahu (7).

$$R = \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}] \quad (7)$$

kde:

s_i [m] tloušťka jednotlivých vrstev oddílu

λ_i [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] součinitel tepelné vodivosti

Ztráty vlivem prostupem tepla přes jednotlivé stěny či okna, vypočítáme podle vztahu (8):

$$Q_i = k_j \cdot S_j \cdot (t_j - t_e) [W] \quad (8)$$

kde:

S [m^2] plocha stěny

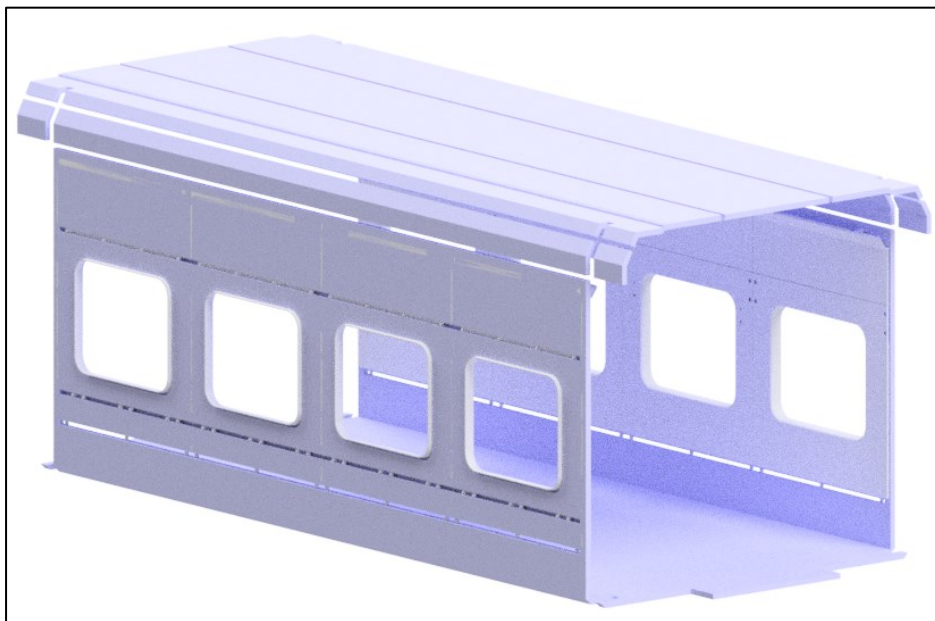
t [$^{\circ}C$] teplota

Vozidlo má několik konstrukčních celků podlahy, bočnice, strop, čelnice, kterými je nutné se zabývat při návrhu izolace. Spočítal jsem tři možné varianty izolací pro střední oddíl jednopodlažní jednotky.

6.4 Návrh složení oddílu

Jedná se o střední oddíl jednopodlažní elektrické jednotky. Skládá se ze dvou bočnic, dvou stěn oddílu oddělující nástupní prostor, dvoje dveře oddílu, podlahy, střechy a oken. Vnitřní obložení oddílu tvoří interiér vozidla a izolace, která zajišťuje zvukovou a tepelnou pohodu. Všechny použité materiály musejí být nehořlavé.

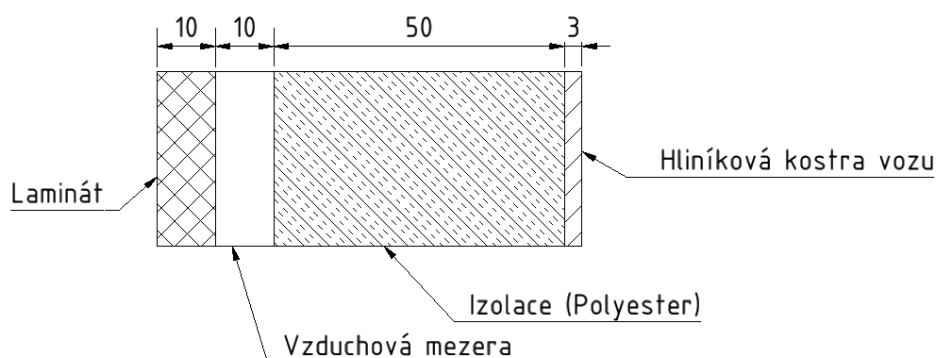
Všechny plochy potřebné k výpočtu ztrát prostupem tepla jsou určeny z modelu oddílu jednopodlažní jednotky (Obr. 23).



Obr. 23 Model oddílu jednopodlažní jednotky *Autor*

6.4.1 Popis a návrh složení bočnice

Bočnice se skládá z hrubé stavby, kterou představuje hliníkový panel o tloušťce 3 mm. Poté izolační vrstva o tloušťce 50 mm z tří různých materiálů, pro tři různé varianty (polyester, melamin, skelná vata), která zajišťuje izolační a zvukovou izolaci. Poté laminát, který tvoří interiér vozidla.



Obr. 24 Návrh složení bočnice oddílu *Autor*

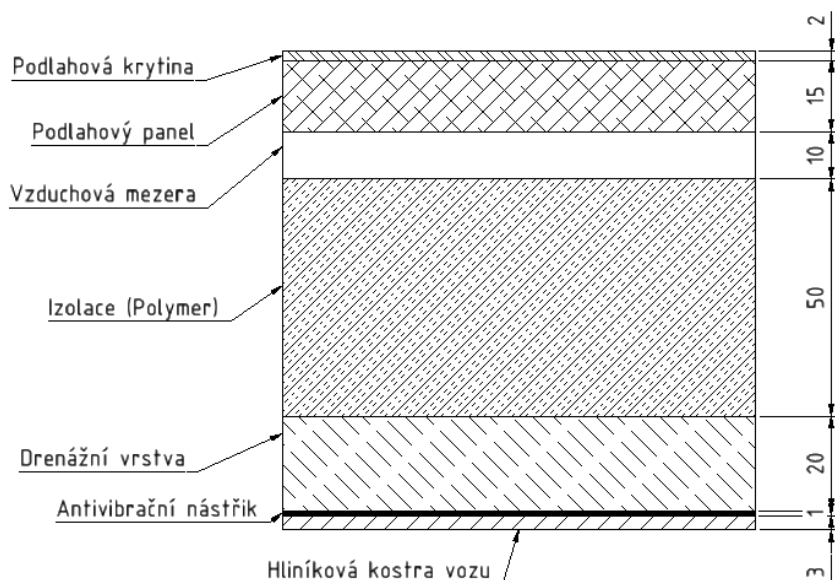
Tab. 16 Materiály pro složení bočnice *Autor*

Materiál	Tloušťka [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ_i
Hliník	0,003	230
Izolační vrstva	0,05	0,029
Vzduch	0,01	0,0258
Laminát	0,01	0,069

6.4.2 Popis a návrh složení podlahy

Podlaha se skládá z hliníkové kostry vozu, na kterou je nanesená tenká vrstva antivibračního nástřiku. Dále drenážní vrstva, pro odvedení nashromážděné vlhkosti, samotná izolace (tři varianty izolace), podlahový panel o tloušťce 15 mm a podlahová krytina o tloušťce 2 mm.

Pro účel této práce zanedbávám kanály pro elektroinstalaci a tloušťka všech vrstev bude po celé délce podlahy stejná.

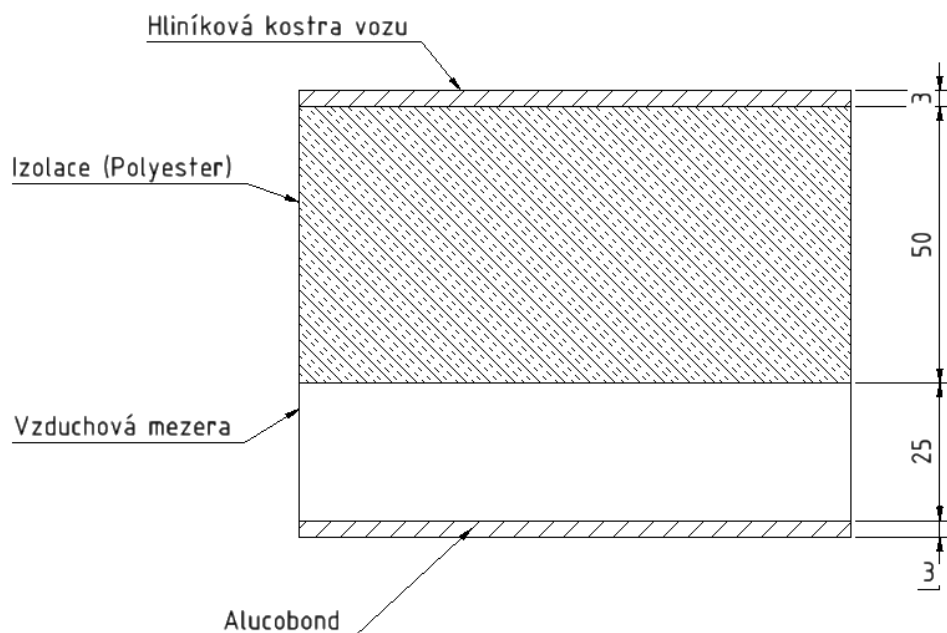
Obr. 25 Návrh složení podlahy oddílu *Autor*Tab. 17 Materiály pro složení podlahy *Autor*

Materiál	Tloušťka [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ_i
Hliník	0,003	230
Antivibrační nástřik	0,001	0,605
Drenážní vrstva	0,02	0,0541

Izolační vrstva	0,05	0,029
Vzduch	0,01	0,0258
Podlahový panel	0,015	0,03
Podlahová krytina	0,002	0,19

6.4.3 Popis a návrh složení stropu

Strop se skládá podobně jak ostatní části z hliníkové kostry vozidla, na kterou je nalepena izolační vrstva a poté materiál alucobond o tloušťce 3 mm. Jedná se o kompozitní sendvičový materiál s hliníkovými krycími vrstvami a polyethylenovým nebo minerálním jádrem.



Obr. 26 Návrh složení stropu oddílu ^{Autor}

Tab. 18 Materiály pro složení stropu oddílu ^{Autor}

Materiál	Tloušťka [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ_i
Hliník	0,003	230
Izolační vrstva	0,05	0,029
Vzduch	0,025	0,0258
Alucobond	0,003	0,49

6.4.4 Popis a návrh složení okna oddílu

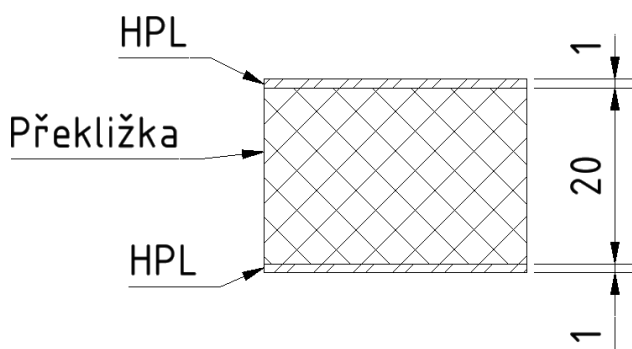
Okno je složeno z pevného rámu, do kterého je zabudované okenní panel pomocí pryžového profilu. Pevný rám je vyroben z profilů slitin hliníku. Okenní tabule jsou zhotoveny z bezpečnostního tónovaného dvojskla o předepsaném součiniteli tepelné vodivosti $\lambda = 1,7 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ ²¹.

6.4.5 Popis a návrh složení dveří oddílu

Dveře oddílu slouží k oddělení jednotlivých oddílů vozidla a nástupního prostoru. Dveře oddílu musí splňovat předepsaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,8 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ ²¹.

6.4.6 Popis a návrh složení vnitřní stěny oddílu

Vnitřní stěna oddílu má za úkol oddělovat prostor pro cestující od nástupního prostoru. Skládá se z desek HPL což jsou kompaktní desky z vysokotlakého laminátu o tloušťce 1 mm a překližky o tloušťce 20 mm.



Obr. 27 Návrh vnitřní stěny oddílu ^{Autor}

Tab. 19 Materiály pro stěnu nástupního prostoru ^{Autor}

Materiál	Tloušťka [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ_i
HPL	0,001	0,13
Překližka	0,02	0,147
HPL	0,001	0,13

6.5 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla pro stojící vůz

Důležité parametry:

- vnější teplota: -50°C
- zvolená teplota uvnitř oddílu: $+20^{\circ}\text{C}$
- zvolená teplota v nástupním prostoru: $+14^{\circ}\text{C}$
- počet míst k sezení: 40 cestujících
- maximální rychlost vozidla: 160km/h

Vnitřní součinitel přestupu tepla α_1 jsem použil z Tab. 12.

Vnější součinitel přestupu tepla α_2 jsem použil dle vyhlášky UIC 553.

6.5.1 Bočnice

Součinitel prostupu tepla k_i jsem vypočítal podle vzorce (5) pro jednotlivé složení bočnice.

$$k_{boč.} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + 1,635 + \frac{1}{23}} = 0,555 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Redukovaný tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (6):

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} = \frac{100 \cdot 2,257}{(100 + 20 + 18)} = 1,635 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde:

P_1, P_2 [%] jsem volil z Tab. 14

Tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (7):

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{0,003}{230} + \frac{0,05}{0,029} + \frac{0,01}{0,0258} + \frac{0,01}{0,069} = 2,257 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Ztráta prostupem tepla bočnicemi se vypočítá dle vztahu (8):

$$Q_{boč.} = k_{boč.} \cdot S_{boč.} \cdot (t_j - t_e) = 0,555 \cdot 26,562 \cdot (20 - (-50)) = 1031,702 \text{ W}$$

kde:

$S_{boč.}$ [m^2] plocha bočnic oddílu

t_j [$^{\circ}\text{C}$] teplota uvnitř oddílu

t_e [$^{\circ}\text{C}$] teplota okolí

6.5.2 Strop

Součinitel prostupu tepla k_i jsem vypočítal podle vzorce (5) pro jednotlivé složení stropu.

$$k_{strop} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + 1,970 + \frac{1}{23}} = 0,470 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Redukovaný tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (6):

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} = \frac{100 \cdot 2,699}{(100 + 19 + 18)} = 1,970 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde:

P_1, P_2 [%] jsem volil z Tab. 14

Tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (7):

$$R = \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{0,003}{230} + \frac{0,05}{0,029} + \frac{0,025}{0,0258} + \frac{0,003}{0,49} = 2,699 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Ztráta prostupem tepla stropem se vypočítá dle vztahu (8):

$$Q_{strop} = k_{strop} \cdot S_{strop} \cdot (t_j - t_e) = 0,470 \cdot 28,086 \cdot (20 - (-50)) = 923,583 \text{ W}$$

kde:

S_{strop} [m^2] plocha stropu oddílu

t_j [$^{\circ}\text{C}$] teplota uvnitř oddílu

t_e [$^{\circ}\text{C}$] teplota okolí

6.5.3 Podlaha

Součinitel prostupu tepla k_i jsem vypočítal podle vzorce (5) pro jednotlivé složení podlahy.

$$k_{pod.} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + 2,234 + \frac{1}{23}} = 0,413 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Redukovaný tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (6):

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} = \frac{100 \cdot 2,994}{(100 + 7 + 27)} = 2,234 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde:

P_1, P_2 [%] jsem volil z Tab. 14

Tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (7):

$$R = \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{0,003}{230} + \frac{0,001}{0,605} + \frac{0,02}{0,0541} + \frac{0,05}{0,029} + \frac{0,01}{0,0258} + \frac{0,015}{0,03} + \frac{0,002}{0,19} \\ = 2,994 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Ztráta prostupem tepla podlahou se vypočítá dle vztahu (8):

$$Q_{pod.} = k_{pod.} \cdot S_{pod.} \cdot (t_j - t_e) = 0,413 \cdot 25,236 \cdot (20 - (-50)) = 729,230 \text{ W}$$

kde:

$S_{pod.}$ [m^2] plocha podlahy oddílu

t_j [$^{\circ}\text{C}$] teplota uvnitř oddílu

t_e [$^{\circ}\text{C}$] teplota okolí

6.5.4 Okno oddílu

Součinitel prostupu tepla k_i jsem vypočítal podle vzorce (5) pro okno:

$$k_{okno} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + 0,406 + \frac{1}{23}} = 1,852 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Redukovaný tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (6):

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} = \frac{100 \cdot 0,588}{(100 + 45 + 0)} = 0,406 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde:

P_1, P_2 [%] jsem volil z Tab. 14

Tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (7):

$$R = \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{1}{1,7} = 0,588 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Ztráta prostupem tepla oknem se vypočítá dle vztahu (8):

$$Q_{okno} = k_{okno} \cdot S_{okno} \cdot (t_j - t_e) = 1,852 \cdot 9,192 \cdot (20 - (-50)) = 1191,408 \text{ W}$$

kde:

S_{okno} [m^2] plocha oken oddílu

t_j [$^{\circ}C$] teplota uvnitř oddílu

t_e [$^{\circ}C$] teplota okolí

6.5.5 Tepelná ztráta prostupem oddílu stojícího vozu

$$\begin{aligned} Q_{c.st.} &= Q_{boč.} + Q_{strop} + Q_{pod.} + Q_{okno} + Q_{dveře} + Q_{stěny} \\ &= 1031,702 + 923,583 + 729,230 + 1191,408 + 39,262 + 209,429 \\ &= 4124,614 \text{ W} \end{aligned}$$

6.6 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla pro jedoucí vůz

Důležité parametry:

- vnější teplota: $-50^{\circ}C$
- zvolená teplota uvnitř oddílu: $+20^{\circ}C$
- zvolená teplota v nástupním prostoru: $+14^{\circ}C$
- počet míst k sezení: 40 cestujících
- maximální rychlost vozidla: $160 km/h$

Vnitřní součinitel přestupu tepla α_1 jsem použil z Tab. 12.

Vnější součinitel přestupu tepla $\alpha_{2.jizd.} = 91,087 \text{ W} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ (Kapitola 6.3.1).

6.6.1 Bočnice

Součinitel prostupu tepla k_i jsem vypočítal podle vzorce (5) pro jednotlivé složení bočnice.

$$k_{boč.jizdy} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_{2.jizdy}}} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + 1,635 + \frac{1}{91,087}} = 0,565 \text{ W} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Redukovaný tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (6):

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} = \frac{100 \cdot 2,257}{(100 + 20 + 18)} = 1,635 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

kde:

P_1, P_2 [%] jsem volil z Tab. 14

Tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (7):

$$R = \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{0,003}{230} + \frac{0,05}{0,029} + \frac{0,01}{0,0258} + \frac{0,01}{0,069} = 2,257 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Ztráta prostupem tepla bočnicemi se vypočítá dle vztahu (8):

$$Q_{boč.jizdy} = k_{boč.jizdy} \cdot S_{boč.} \cdot (t_j - t_e) = 0,565 \cdot 26,562 \cdot (20 - (-50)) = 1050,648 \text{ W}$$

kde:

$S_{boč.}$ [m^2] plocha bočnic oddílu

t_j [$^{\circ}\text{C}$] teplota uvnitř oddílu

t_e [$^{\circ}\text{C}$] teplota okolí

6.6.2 Strop

Součinitel prostupu tepla k_i jsem vypočítal podle vzorce (5) pro jednotlivé složení stropu.

$$k_{strop jizdy} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_2 jizdy}} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + 1,970 + \frac{1}{91,087}} = 0,477 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Redukovaný tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (6):

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} = \frac{100 \cdot 2,699}{(100 + 19 + 18)} = 1,970 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde:

P_1, P_2 [%] jsem volil z Tab. 14

Tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (7):

$$R = \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{0,003}{230} + \frac{0,05}{0,029} + \frac{0,025}{0,0258} + \frac{0,003}{0,49} = 2,699 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Ztráta prostupem tepla stropem se vypočítá dle vztahu (8):

$$Q_{strop\ jizdy} = k_{strop\ jizdy} \cdot S_{strop} \cdot (t_j - t_e) = 0,477 \cdot 28,086 \cdot (20 - (-50)) \\ = 937,903\ W$$

kde:

S_{strop} [m^2] plocha stropu oddílu

t_j [$^{\circ}C$] teplota uvnitř oddílu

t_e [$^{\circ}C$] teplota okolí

6.6.3 Podlaha

Součinitel prostupu tepla k_i jsem vypočítal podle vzorce (5) pro jednotlivé složení podlahy.

$$k_{pod.jizdy} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_2\ jizdy}} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + 2,234 + \frac{1}{91,087}} = 0,418\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Redukovaný tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (6):

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} = \frac{100 \cdot 2,994}{(100 + 7 + 27)} = 2,234\ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

kde:

P_1, P_2 [%] jsem volil z Tab. 14

Tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (7):

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{0,003}{230} + \frac{0,001}{0,605} + \frac{0,02}{0,0541} + \frac{0,05}{0,029} + \frac{0,01}{0,0258} + \frac{0,015}{0,03} + \frac{0,002}{0,19} \\ = 2,994\ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

Ztráta prostupem tepla podlahou se vypočítá dle vztahu (8):

$$Q_{pod.jizdy} = k_{pod.jizdy} \cdot S_{pod.} \cdot (t_j - t_e) = 0,418 \cdot 25,236 \cdot (20 - (-50)) = 739,147\ W$$

kde:

$S_{pod.}$ [m^2] plocha podlahy oddílu

t_j [$^{\circ}C$] teplota uvnitř oddílu

t_e [$^{\circ}C$] teplota okolí

6.6.4 Okno oddílu

Součinitel prostupu tepla k_i jsem vypočítal podle vzorce (5) pro okno:

$$k_{okno\ jizdy} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_2\ jizdy}} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + 0,406 + \frac{1}{91,087}} = 1,97\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Redukovaný tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (6):

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} = \frac{100 \cdot 0,588}{(100 + 45 + 0)} = 0,406\ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

kde:

P_1, P_2 [%] jsem volil z Tab. 14

Tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (7):

$$R = \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{1}{1,7} = 0,588\ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

Ztráta prostupem tepla oknem se vypočítá dle vztahu (8):

$$\begin{aligned} Q_{okno\ jizdy} &= k_{okno\ jizdy} \cdot S_{okno} \cdot (t_j - t_e) = 1,97 \cdot 9,192 \cdot (20 - (-50)) \\ &= 1267,694\ W \end{aligned}$$

kde:

S_{okno} [m^2] plocha oken oddílu

t_j [$^{\circ}C$] teplota uvnitř oddílu

t_e [$^{\circ}C$] teplota okolí

6.6.5 Dveře oddílu

Součinitel prostupu tepla k_i jsem vypočítal podle vzorce (5) pro dveře oddílu:

$$k_{dveře\ jizdy} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_2\ jizdy}} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + 0,694 + \frac{1}{91,087}} = 1,228\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Redukovaný tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (6):

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} = \frac{100 \cdot 1,25}{(100 + 80 + 0)} = 0,694 \, m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

kde:

P_1, P_2 [%] jsem volil z Tab. 14

Tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (7):

$$R = \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{1}{0,8} = 1,25 \, m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

Ztráta prostupem tepla dveřmi oddílu se vypočítá dle vztahu (8):

$$Q_{dveře jízdy} = k_{dveře jízdy} \cdot S_{dveře} \cdot (t_j - t_e) = 1,228 \cdot 5,54 \cdot (20 - 14) = 40,829 \, W$$

kde:

$S_{dveře}$ [m^2] plocha dveří oddílu

t_j [$^{\circ}C$] teplota uvnitř oddílu

t_e [$^{\circ}C$] teplota v nástupním prostoru

6.6.6 Stěna nástupního prostoru

Součinitel prostupu tepla k_i jsem vypočítal podle vzorce (5) pro jednotlivé složení vnitřní stěny oddílu.

$$k_{stěny jízdy} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{red} + \frac{1}{\alpha_2 jízdy}} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + 0,110 + \frac{1}{91,087}} = 4,359 \, W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Redukovaný tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (6):

$$R_{red} = \frac{100 \cdot R}{(100 + P_1 + P_2)} = \frac{100 \cdot 0,151}{(100 + 20 + 18)} = 0,110 \, m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

kde:

P_1, P_2 [%] jsem volil z Tab. 14

Tepelný odpor konstrukce jsem vypočítal podle vztahu (7):

$$R = \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{0,001}{0,13} + \frac{0,02}{0,147} + \frac{0,001}{0,13} = 0,151 \, m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

Ztráta prostupem tepla vnitřní stěnou oddílu se vypočítá dle vztahu (8):

$$Q_{stěny jízdy} = k_{stěny jízdy} \cdot S_{stěny} \cdot (t_j - t_e) = 4,359 \cdot 9,142 \cdot (20 - 14) = 239,098 \text{ W}$$

kde:

$S_{stěny}$ [m^2] plocha vnitřní stěny oddílu

t_j [$^{\circ}C$] teplota uvnitř oddílu

t_e [$^{\circ}C$] teplota nástupního prostoru

6.6.7 Tepelná ztráta prostupem oddílu jedoucího vozu

$$\begin{aligned} Q_{c jízdy} &= Q_{boč.jízdy} + Q_{strop jízdy} + Q_{pod.jízdy} + Q_{okno jízdy} + Q_{dveře jízdy} + Q_{stěny jízdy} \\ &= 1050,648 + 937,903 + 739,147 + 1267,694 + 40,829 + 239,098 \\ &= 4275,319 \text{ W} \end{aligned}$$

6.7 Ztráty vlivem větrání

Jedná se o ztráty v prostoru pro cestující vlivem objemového průtoku venkovního vzduchu, tyto ztráty vypočítáme podle vzorce (9):

$$Q_{V cest.} = 0,335 \cdot \dot{V}_{L cest.} \cdot (t_i - t_e) = 0,335 \cdot 600 \cdot (20 - (-50)) = 14070 \text{ W} \quad (9)$$

kde:

$\dot{V}_{L cest.}$ [$m^3 \cdot h^{-1}$] celkový objemový průtok venkovního vzduchu

Celkový objemový průtok venkovního vzduchu vypočteme podle vztahu (10):

$$\dot{V}_{L cest.} = \dot{V}_1 \cdot n = 15 \cdot 40 = 600 \text{ m}^3 \cdot h^{-1} \quad (10)$$

kde:

\dot{V}_1 [$m^3 \cdot h^{-1}$] objemový průtok venkovního vzduchu na osobu při venkovní teplotě $-40^{\circ}C$ ²¹

n [-] počet osob v oddílu (maximální počet míst na sezení)

6.8 Celková tepelná ztráta oddílu pro stojící vůz

Celkovou tepelnou ztrátu oddílu vypočítáme podle vztahu (11):

$$Q_{v celk st.} = Q_{c st.} + Q_{v cest.} = 4124,614 + 14070 = 18194,614 \text{ W} \quad (11)$$

6.9 Celková tepelná ztráta oddílu pro jedoucí vůz

Celkovou tepelnou ztrátu oddílu vypočítáme podle vztahu (11):

$$Q_{v\ celk\ jízdy} = Q_{c\ jízdy} + Q_{v\ cest.} = 4275,319 + 14070 = 18345,319\ W$$

6.10 Tepelný zisk oddílu

Běžně se do tepelného zisku zahrnuje zisk od cestujících, který je mezi 80 až 120 W citelného tepla na osobu. Tepelný zisk spotřebičů se obvykle pro osobní vozy neuvažuje. Při výpočtu jsem uvažoval normální obsazení vozů, což odpovídá počtu míst k sezení v oddílu a teplo vyprodukované na osobu 80 W²¹.

Výpočet tepelného zisku z osob vypočítáme podle vztahu (12):

$$Q_z = 80 \cdot n = 80 \cdot 40 = 3200\ W \quad (12)$$

kde:

n [-] počet cestujících

7 Porovnání variant návrhů a výrobně technické vyhodnocení vybraného řešení

Pro vhodnou volbu složení jednotlivých částí vozidla je potřeba analyzovat možné způsoby izolace, porovnat jejich výhody a nevýhody a zvolit tu nejvhodnější.

Vytvořil jsem tři varianty složení stěn vozidla, každá varianta používá odlišný způsob izolace a u všech variant byly vypočítány tepelné ztráty při venkovních teplotách -50°C , -25°C a 0°C .

7.1 Použité druhy izolace

Pro účely diplomové práce jsem navrhl tři druhy izolací, každá má své unikátní vlastnosti, výhody a nevýhody. Tepelná izolace musí splňovat náročné požadavky norem na izolační vlastnosti, akustické tlumení, musí splňovat normu na hořlavost látky EN 45545 a bezpečnost při provozu.

7.1.1 Melaminová pěna

Melaminová pěna je vyrobena na bázi melaminové pryskyřice. Má strukturu s otevřenými buňkami, která jí dodává výjimečné vlastnosti využívané při zvukové a tepelné izolaci (Obr. 29).



Obr. 28 Melaminová pěna ²⁰

K základním výhodám tohoto materiálu patří vysoká schopnost pohlcovat zvuky (až 90 procent), zejména v oblasti středních a vysokých frekvencí. Výborně se proto hodí pro zvukovou izolaci dopravních prostředků. Také má zároveň nízký koeficient prostupu tepla díky čemuž ji lze využít k tepelné izolaci a výrazně tak omezit ztráty tepelné energie.

Díky těmto vlastnostem se dá melaminová pěna využít jako tepelná i akustická izolace vozidla. Dále je pěna velice odolná proti různým teplotám (od -200°C do $+240^{\circ}\text{C}$)²⁰. Další významnou výhodou melaminové pěny je její váha, (pouze $9,5 \text{ kg/m}^3$)²⁰. Melaminová pěna společnosti MAAD má certifikát nehořlavosti, splňuje podmínky jak norem DIN, tak také GOST.

7.1.2 Skelná vata

Skelná vata je tepelně a zvukově izolační materiál vyrobený ze skleněných vláken, které patří do skupiny minerálních vat. Vyrábí se roztavením skla a pak následným rozfoukáním na slabá vlákna o průměru asi $5 \mu\text{m}$. Ty se ukládají na pás, kde vzniká koberec různých tloušťek. Z těchto vláken se vyrábějí různé výrobky od tuhých, polotuhých, měkkých desek, po rohože a volná vlákna.



Obr. 29 Skelná vata Isover²⁴

Izolační vlákna se dodávají buď jako volná vlna cpaná do pytlů určená k ručnímu vyplňování dutin nebo obalování izolovaných prvků nebo se dodávají v podobě rohoží či plstí jako měkké ohebné pásy nebo polotuhé až tuhé desky.

Mezi přednosti skelné vaty patří snadná tvarovatelnost, odolnost proti vysokým teplotám, nízká objemová hmotnost, nízký koeficient tepelné vodivosti a nízký difúzní odpor.

K nevýhodám patří malá pevnost a nízká odolnost proti zatížení, při větším zatížení dochází ke zhroucení vláken. Při použití volné vlny v pytlech dochází k sesednutí izolace a nashromáždění vláken na spodek pytlů a tím vytvoření volného, nechráněného prostoru.

7.1.3 Polyesterová izolace

Polyesterová izolace je materiál z velmi jemných polyesterových vláken se zvukovou pohltivostí a skvělými tepelně izolačními vlastnostmi. Jsou vhodné pro aplikaci ve velmi vlhkých prostředích, je odolná proti působení paliv, olejů a maziv.

Tato izolace je vyrobena ze 100 % polyesterových vláken, které jsou recyklovatelné a vůči životnímu prostředí se jeví jako šetrný materiál. Je velmi lehký, hydrofobický (nenasákavý), lze jej snadno tvarovat, stříhat a použít pro více aplikací.

Vyrábí se pomocí vertikálně kladených velmi jemných polyesterových vláken, které zaručují tepelnou a zvukovou izolaci. Systém vertikálně kladených vláken poskytuje materiálu, také vysokou odolnost, zachování vysoké pružnosti jeho struktury a původního tvaru.

Mezi jeho další výhody patří:

- stlačitelný, tepelně tvarovatelný,
- umožňuje aplikaci ve vícerozvrstvách,
- k dispozici se zadní stranou opatřenou samolepící vrstvou pro snadnou instalaci,
- vysoká odolnost proti vzdušné a kondenzující vlhkosti.



Obr. 30 Polyesterová izolace ²⁵

7.2 Porovnání výsledků tepelných ztrát

Jak už bylo řečeno, tepelné ztráty jsem vypočítal pro tři různé teploty pro všechny tři varianty použitých izolací jak pro stojící vůz, tak také pro jedoucí vůz.

7.2.1 Tepelné ztráty pro stojící vůz

Tepelné ztráty při teplotě -50°C (Tab. 20).

Tab. 20 Tepelné ztráty oddílu stojícího vozu při vnější teplotě -50°C Autor

	-50°C	Polyester	Melamin	Skelná vata
Celkové ztráty	$Q_c \text{ [W]}$	4124,614	4440,972	4391,464
Ztráty vlivem větrání	$Q_v \text{ cest. [W]}$	14070	14070	14070
Celk. objemový průtok venk. vzduchu	$V_L \text{ cest. [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$	600	600	600
Celková tepelná ztráta oddílu	$Q_v \text{ celk. [W]}$	18194,61	18510,97	18461,46
Tepelný zisk oddílu	$Q_z \text{ [W]}$	3200	3200	3200
Součinitel prostupu tepla	$k \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$	0,57	0,61	0,61

Nejlépe vychází polyesterová izolace díky nejlepšímu součiniteli tepelné vodivosti. Rozdíly mezi melaminovou pěnou nebo skelnou vatou jsou dosti malé, jejich součinitele tepelné vodivosti jsou podobné.

Tepelné ztráty při teplotě -25°C (Tab. 21).

Tab. 21 Tepelné ztráty oddílu stojícího vozu při vnější teplotě -25°C Autor

	-25°C	Polyester	Melamin	Skelná vata
Celkové ztráty	Q_c [W]	2698,907	2902,28	2870,454
Ztráty vlivem větrání	Q_v cest. [W]	9045	9045	9045
Celk. objemový průtok venk. vzduchu	VL cest. $[m^3 \cdot h^{-1}]$	600	600	600
Celková tepelná ztráta oddílu	Q_v celk. [W]	11743,91	11947,28	11915,454
Tepelný zisk oddílu	Q_z [W]	3200	3200	3200
součinitel prostupu tepla	k $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	0,58	0,62	0,61

Tepelné ztráty při teplotě 0°C (Tab. 22).

Tab. 22 Tepelné ztráty oddílu stojícího vozu při vnější teplotě 0°C Autor

	0°C	Polyester	Melamin	Skelná vata
Celkové ztráty	Q_c [W]	1591,5	1704,486	1686,804
Ztráty vlivem větrání	Q_v cest. [W]	5025	5025	5025
Celk. objemový průtok venk. vzduchu	VL cest. $[m^3 \cdot h^{-1}]$	600	600	600
Celková tepelná ztráta oddílu	Q_v celk. [W]	6616,5	6729,486	6711,804
Tepelný zisk oddílu	Q_z [W]	3200	3200	3200
součinitel prostupu tepla	k $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	0,61	0,66	0,65

7.2.2 Tepelné ztráty pro jedoucí vůz

Tepelné ztráty při teplotě -50°C (Tab. 23).

Tab. 23 Tepelné ztráty oddílu jedoucího vozu při vnější teplotě -50°C *Autor*

	-50°C	Polyester	Melamin	Skelná vata
Celkové ztráty	Qc [W]	4275,319	4602,739	4551,412
Ztráty vlivem větrání	Qv cest. [W]	14070	14070	14070
Celk. objemový průtok venk. vzduchu	VL cest. $[m^3 \cdot h^{-1}]$	600	600	600
Celková tepelná ztráta oddílu	Qv celk. [W]	18345,32	18672,74	18621,412
Tepelný zisk oddílu	Qz [W]	3200	3200	3200
součinitel prostupu tepla	k $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	0,59	0,63	0,63

Tepelné ztráty při teplotě -25°C (Tab. 24).

Tab. 24 Tepelné ztráty oddílu jedoucího vozu při vnější teplotě -25°C *Autor*

	-25°C	Polyester	Melamin	Skelná vata
Celkové ztráty	Qc [W]	2801,739	3012,223	2979,227
Ztráty vlivem větrání	Qv cest. [W]	9045	9045	9045
Celk. objemový průtok venk. vzduchu	VL cest. $[m^3 \cdot h^{-1}]$	600	600	600
Celková tepelná ztráta oddílu	Qv celk. [W]	11846,74	12057,22	12024,227
Tepelný zisk oddílu	Qz [W]	3200	3200	3200
součinitel prostupu tepla	k $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	0,6	0,65	0,64

Tepelné ztráty při teplotě 0°C (Tab. 25).

Tab. 25 Tepelné ztráty oddílu jedoucího vozu při vnější teplotě 0°C *Autor*

	0°C	Polyester	Melamin	Skelná vata
Celkové ztráty	Q_c [W]	1660,2	1777,134	1758,803
Ztráty vlivem větrání	Q_v cest. [W]	5025	5025	5025
Celk. objemový průtok venk. vzduchu	VL cest. [$m^3 \cdot h^{-1}$]	600	600	600
Celková tepelná ztráta oddílu	Q_v celk. [W]	6685,2	6802,134	6783,803
Tepelný zisk oddílu	Q_z [W]	3200	3200	3200
součinitel prostupu tepla	k [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	0,64	0,69	0,68

7.3 Zhodnocení a výběr izolace

V praxi se díváme nejen na výpočty tepelných ztrát, ale velmi důležitý faktor ovlivňující výběr izolace je hlavně cena a hmotnost izolačních materiálů. V kapitole 7.2 jsem zjistil tepelné ztráty všech tří variant izolací. Nejlépe vychází použití polyesterové izolace, ale rozdíly nejsou markantní. Budou rozhodovat výhody, nevýhody a hlavně cena použitých izolací.

7.3.1 Srovnání hmotností a cen variant izolací

Pro srovnání cen izolací jsem ve spolupráci s firmou Škoda Vagonka a.s., dostal list pro projektovou cenu izolací melaminu a polyesteru od firmy Pyrotek Inc., skelnou vatu firma už nepoužívá proto jsem nebyl schopen nalézt optimální cenovou nabídku. Cenovou nabídku budu srovnávat pouze u varianty pro melaminovou pěnu a polyesterovou izolaci. Také jsem z prospektů vyhodnotil hmotnost jednotlivých izolací na oddíl vozidla.

Tab. 26 Srovnání cen a hmotností variant ²¹

Varianta	Materiál	Část vozidla	Celková plocha na oddíl [m ²]	Tloušťka drenážní vrstvy [m]	Cena za m ² [Kč]	Cena za oddíl [Kč]	Hmotnost [kg]
1. Varianta (Polyester)	Izolace	Strop	28,086	0	533,11	14972,9275	33,7032
	Izolace	Bočnice	26,562	0	348,54	9257,91948	31,8744
	Izolace	Podlaha	25,236	0,02	533,11	13453,564	30,2832
	Antivibrační nátěr	Podlaha	25,236	0	173	4365,828	
	Celkem					42050,2389	95,861
2. Varianta (Melamin)	Izolace	Strop	28,086	0	609,06	17106,0592	11,2344
	Izolace	Bočnice	26,562	0	558,17	14826,1115	10,6248
	Izolace	Podlaha	25,236	0,02	609,06	15370,2382	10,0944
	Antivibrační nátěr	Podlaha	25,236	0	173	4365,828	
	Celkem					51668,2369	31,954
3. Varianta (Sklenná vata)	Celkem						139,797

7.3.2 Výběr izolace

Z vyhodnocení cen a hmotností je patrné, že nejlépe cenově vychází polyesterová izolace, hned poté melaminová izolace. Výhodou polyesterové izolace je, že není nasákavá, vlhkost kondenzuje uvnitř izolace a voda proteče vlastní tíhou na spodek, kde je drenáž odváděná pryč. Naproti tomu melaminová izolace je lehčí, ale dražší než polyesterová a je nasákavá, vlhkost pohlcuje a jen těžko z ní vyteče.

Všechny tři tyto izolace splňují normu proti hoření EN 45545. Nevýhodou sklené vaty je ztráta integrity při jízdě, kdy dochází ke strásání vláken a vytvoření nekryté plochy. Také sklená vata neodolává vůči vlhkosti podobně jak melaminová pěna a je ze všech tří izolací také nejtěžší.

Z ekonomického a technického hlediska nejlépe vychází polyesterová izolace, teplotní ztráty oproti ostatním vychází nejlépe, dobře odvádí vlhkost a splňuje požadavky normy hoření EN 4554 a je nejlevnější. Z těchto důvodů vybírám 1. variantu s polyesterovou izolací s hliníkovou vrstvou na lícové straně a se samolepnou na vnitřní straně.

8 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo provést analýzu požadavků na vozidlo pro oblasti s výskytem velmi nízkých teplot. Rozbor požadavků na jednotlivé komponenty, použité materiály a jejich chování v extrémních teplotách. Vypracovat soubor návrhů řešení k zajištění provozuschopnosti vozidla jak při konstrukci vozidla, tak také v provozu a uvést doporučení pro provozovatele při údržbě a nakonec provést výpočet teplotních ztrát středního oddílu pro tři varianty.

V úvodu jsem se zabýval popisem vozidla a jeho výběr. Jednalo se o jednopatrovou příměstskou elektrickou jednotku kvůli jejímu umístění důležitých komponentů a tím větší náchylnost na vnější prostředí. Poté jsem provedl rešerši příslušné legislativy jak evropské normy, tak také normy pro Společenství nezávislých států.

Poté analyzuji jednotlivé klimatické vlivy, jako jsou teplota, vlhkost, práškový sníh, sluneční záření, a jejich působení na materiály a komponenty vozidla. Provedl jsem rozbor komponentů vozidla jejich popis a náchylnost na různé vlivy klimatických podmínek. Následně jsem navrhl podmínky pro bezproblémový chod vozidla v extrémních podmínkách od samotného návrhu vozidla až po údržbu vozidla v provozu.

V posledním kroku jsem provedl návrh složení středního oddílu vozidla pro tři různé varianty izolací. Vypočítal jsem prostupy tepla a celkové teplotní ztráty jednotlivých variant pro stojící a jedoucí vůz při teplotách $-50, -25, 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Závěrem jsem srovnal jednotlivé varianty podle teplotních ztrát, cen a hmotností použitých izolací a zvolil jednu variantu, která se jeví jako nejvhodnější pro použití v provozu s extrémními podmínkami.

Práce může být využita při konstrukci vozidla do extrémních podmínek. Je zde vypracována komplexní analýza vlivu extrémních podmínek na důležité komponenty vozidla, navržena údržba pro udržení vozidla v provozuschopném stavu a navržena skladba stěn středního oddílu jednopodlažní jednotky.

Poděkování

Tím to bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jaromírovi Šírokému, Ph.D. z Institutu dopravy VŠB-TUO, za jeho odborné rady, nápady a připomínky, které byly přínosem k vypracování této diplomové práce.

Dále bych také rád poděkoval panu Ing. Radimovi Sýkorovi, za výbornou komunikaci, odborné rady a poskytnutí potřebných norem a běžně nedostupné legislativy, které byly základem pro vytvoření této práce a také panu Ing. Michalovi Trgiňovi, za výbornou komunikaci a odborné rady při výpočtech.

Seznam použité literatury

1. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sb%C4%9Bra%C4%8D_proudu
2. ČSN EN 50125-1, vydání 2015. Drážní zařízení – Podmínky prostředí pro zařízení – Část 1: Zařízení drážních vozidel.
3. ГОСТ 16350-80 - Климат СССР, vydání 1981. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.
4. TLAK VZDUCHU [online]. [cit.2020-03-13]. Dostupné z: http://artemis.osu.cz/MMi/meteo1/diplomka/Ramec2_soubory/AAA/tlak1.html
5. PAVELEK, Milan. TERMOMECHANIKA, 7. Druhý zákon termodynamiky. [online]. [cit.2020-03-13]. Dostupné z: http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/termo/07_2-Zakon.pdf
6. MĚŘENÍ SOUČinitele TEplotní A OBJEMOVÉ ROZTAŽNOSTI [online]. [cit.2020-03-13]. Dostupné z: http://kf.vsb.cz/Studium/FMMI/Lab_ulozy/navody3/2_tepl_roztaznost.pdf
7. Článek. Publi.cz: stránky věnované multimediální publikaci. Tepelné vlastnosti polymerů [online]. [cit.2020-05-07]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/13.html>
8. DVOŘÁČKOVÁ, Kateřina. *Studium vlastností vybraných prostředků používaných pro ochranu kovů proti korozi*. [online]. Brno, 2007 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/fafrijv>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Ivan Berger.
9. MALOVANÝ, Daniel. *Návrh vodního chladiče pro formulový motor* [online]. Brno, 2011 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/1625>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce David Svída.
10. ČSN EN 14750-1,2, vydání 2006. Železniční aplikace – Klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla.
12. ONDRUŠKA, Emil a Antonín MALOUŠEK. *Ventilace a chlazení elektrických strojů točivých*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
13. ČERNUŠKA, Kamil. *Vliv tepelného zpracování na strukturní a mechanické vlastnosti slitin hliníku třídy 6xxx používaných v automobilovém průmyslu* [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/109235>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

14. Klimatizace, [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Klimatizace>
15. WC buňka, [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://vlaky.net>
16. HRUBÝ, Jan. Konstrukční návrh vakuového toaletního systému pro kolejové vozidlo [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/129574>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
17. MÜLLER Jaroslav. Příslušenství kolejových vozidel. 2. vyd. Bratislava: Alfa, 1990. 210 s.
18. HORÁK, A. Vazba inverzní úlohy na návrh experimentu. Brno, 2006. 29 s. Pojednání ke státní doktorské zkoušce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Raudenský, Csc.
19. BAČOVSKÝ, Marek. Tepelně-mechanická analýza brzdových kotoučů [online]. Brno, 2014 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/33124>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Pavel Novotný.
20. Melaminová pěna, [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z:
<https://www.maad.com.pl/cs/melaminova-pena/>
21. Podklady společnosti Škoda VAGONKA a.s.
22. KADLEC, Zdeněk. Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. SPBI Spektrum. ISBN 978-80-7385-061-6.
23. IZER, Jiří. Kolejové vozy. Bratislava: Alfa, 1986. Skripta. Vysoká škola dopravy a spojov v Žiline.
24. Isover, [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/>
25. Pyrotek, [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.pyrotek.com/>
26. CHANG, S. W., et al. Engineering failure analysis. Useful lifetime prediction of rubber component. Republic of Korea, 2011. Dostupný na: 10.1016/j.engfailanal.2011.01.003.

Seznam použitých obrázků

Obr. 1 Elektrická patrová jednotka řady 471 - City Elefant ¹	16
Obr. 2 Jednopodlažní elektrická jednotka řady 641 - RegioPanter ¹	16
Obr. 3 Schéma uložení technologických celků elektrického vozu ¹	17
Obr. 4 Rozdělení bývalého území Sovětského svazu na jednotlivé zóny dopadu klimatu ³	20
Obr. 5 Závislost tlaku vzduchu na nadmořské výšce ⁴	23
Obr. 6 Parametry ovlivňující teplotu pohodu ve voze ⁵	25
Obr. 7 Dvouokruhový ventilační systém chlazení trakčního motoru ¹²	27
Obr. 8 Závislost délky tyče na teplotě ⁶	28
Obr. 9 Rozsahy vlhkosti vzduchu pro třídy T1 a TX ²	30
Obr. 10 Rozsahy vlhkosti vzduchu pro třídy T2 a T3 ²	31
Obr. 11 Závislost atmosférické koroze na relativní vlhkosti ⁸	32
Obr. 12 Schématické znázornění radiace mezi dvěma povrchy ⁹	34
Obr. 13 Diferenciální ocelová hrubá stavba ¹²	36
Obr. 14 Změna pevnosti, meze kluzu a prodloužení při nízkých teplotách u slitiny Al 6016 ¹³	38
Obr. 15 Dvoukřídlé externí dveře ⁷	40
Obr. 16 Klimatizační jednotka HVAC ¹⁴	42
Obr. 17 UNI WC buňka ¹⁵	44
Obr. 18 Princip toalety ¹⁶	44
Obr. 19 Uspořádání samočinné a přímočinné brzdy vlaku ¹⁷	48
Obr. 21 Přípustný prostor pro stanovení regulační křivky vozidel ¹⁰	54
Obr. 22 Rozdělení Evropy do klimatických zón ¹⁰	60
Obr. 23 Moniflex ²¹	61
Obr. 24 Model oddílu jednopodlažní jednotky ^{Autor}	66
Obr. 25 Návrh složení bočnice oddílu ^{Autor}	66
Obr. 26 Návrh složení podlahy oddílu ^{Autor}	67
Obr. 27 Návrh složení stropu oddílu ^{Autor}	68
Obr. 28 Návrh vnitřní stěny oddílu ^{Autor}	69
Obr. 29 Melaminová pěna ²⁰	80
Obr. 30 Skelná vata Isover ²⁴	81

Obr. 31 Polyesterová izolace ²⁵	82
--	----

Seznam použitých tabulek

Tab. 1 Rozdělení území do klimatických oblastí ³	19
Tab. 2 Třídy rozsahu nadmořských výšek ²	23
Tab. 3 Třídy teplot vzduchu ²	24
Tab. 4 Součinitel teplotní roztažnosti materiálu ⁶	28
Tab. 5 Součinitel teplotní roztažnosti vybraných polymerů ⁷	29
Tab. 6 Hodnoty vnější vlhkosti vzduchu ²	30
Tab. 7 Třídy výšky sněhu ²	33
Tab. 8 Třídy slunečního záření ²	34
Tab. 9 Faktory ovlivňující stárnutí pryže ²⁶	46
Tab. 10 Materiály a jejich vlastnosti ¹⁹	49
Tab. 11 Množství vhaněného vzduchu do oddílu pro cestující ¹⁰	59
Tab. 12 Minimální zimní teploty pro jednotlivé zóny ¹⁰	60
Tab. 13 Izolační vlastnosti materiálů pro kolejová vozidla ¹¹	62
Tab. 14 Jednotlivé hodnoty součinitele přestupu tepla na vnitřním povrchu stěny ¹¹	62
Tab. 15 Koeficient přírážek pro tepelný odpor konstrukce ²¹	64
Tab. 16 Materiály pro složení bočnice ^{Autor}	67
Tab. 17 Materiály pro složení podlahy ^{Autor}	67
Tab. 18 Materiály pro složení stropu oddílu ^{Autor}	68
Tab. 19 Materiály pro stěnu nástupního prostoru ^{Autor}	69
Tab. 20 Tepelné ztráty oddílu stojícího vozu při vnější teplotě -50°C ^{Autor}	83
Tab. 21 Tepelné ztráty oddílu stojícího vozu při vnější teplotě -25°C ^{Autor}	84
Tab. 22 Tepelné ztráty oddílu stojícího vozu při vnější teplotě 0°C ^{Autor}	84
Tab. 23 Tepelné ztráty oddílu jedoucího vozu při vnější teplotě -50°C ^{Autor}	85
Tab. 24 Tepelné ztráty oddílu jedoucího vozu při vnější teplotě -25°C ^{Autor}	85
Tab. 25 Tepelné ztráty oddílu jedoucího vozu při vnější teplotě 0°C ^{Autor}	86
Tab. 26 Srovnání cen a hmotností variant ²¹	87

Seznam příloh

Příloha 1	Tepelné_ztráty_SLO0101.xlsm
Příloha 2	Technické listy izolací